Economic Analysis

Research Paper Series

Water Use, Shadow Prices and the Canadian Business Sector Productivity Performance

by Kaïs Dachraoui and Tarek M. Harchaoui

No. 026

Statistics Canada Statistique Canada

Canada

ECONOMIC ANALYSIS RESEARCH PAPER SERIES

The Economic Analysis Research Paper Series provides for the circulation of research conducted by the staff of National Accounts and Analytical Studies, visiting Fellows and academic associates. The research paper series is meant to stimulate discussion on a range of topics including the impact of the New Economy, productivity issues, firm profitability, technology usage, the effect of financing on firm growth, depreciation functions, the use of satellite accounts, savings rates, leasing, firm dynamics, hedonic estimations, diversification patterns, investment patterns, the differences in the performance of small and large, or domestic and multinational firms, and purchasing power parity estimates. Readers of the series are encouraged to contact the authors with comments, criticisms and suggestions.

The primary distribution medium for the papers is the Internet. These papers can be downloaded from the Internet at www.statcan.ca for free. Papers in the series are distributed to Statistics Canada Regional Offices and provincial statistical focal points.

All papers in the Economic Analysis Series go through institutional and peer review to ensure that they conform to Statistics Canada's mandate as a government statistical agency and adhere to generally accepted standards of good professional practice.

The papers in the series often include results derived from multivariate analysis or other statistical techniques. It should be recognized that the results of these analyses are subject to uncertainty in the reported estimates.

The level of uncertainty will depend on several factors: the nature of the functional form used in the multivariate analysis; the type of econometric technique employed; the appropriateness of the statistical assumptions embedded in the model or technique; the comprehensiveness of the variables included in the analysis; and the accuracy of the data that are utilized. The peer group review process is meant to ensure that the papers in the series have followed accepted standards to minimize problems in each of these areas.

Publications Review Committee
Analytical Studies Branch, Statistics Canada
18th Floor, R.H. Coats Building
Ottawa, Ontario, K1A 0T6
Telephone: (613) 951-1804

105-01333/

'Behind these rather dry figures and groupings lie dramatic tragedies of water scarcity ranging from the need to carry heavy pots of water several kilometres every day to meet household needs, through the destitution of farmers who lose their land because of lack of sufficient water to flush salts from the sol, to the loss of wetlands and estuaries because of upstream water depletion.'
Seckler *et al.* (1999)

Water Use, Shadow Prices and the Canadian Business Sector Productivity Performance*

by

Kaïs Dachraoui and Tarek M. Harchaoui†

11F0027 No. 026
ISSN: 1703-0404
ISBN: 0-662-38753-8

Micro-Economic Analysis Division
18-F R.H. Coats Building
Ottawa, K1A 0T6
Statistics Canada
Facsimile Number: (613) 951-3292
† (613) 951-9856
Email: harctar@statcan.ca

December 2004

The authors' names are listed alphabetically.

Published by authority of the Minister responsible for Statistics Canada

© Minister of Industry, 2004

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise without prior written permission from Licence Services, Marketing Division, Statistics Canada, Ottawa, Ontario, Canada K1A 0T6.

Aussi disponible en français

---

* An earlier version of this paper was presented at the 2002 meeting of *La société canadienne de science économique*, Aylmer, and at the Ottawa Productivity Workshop, November 2002. The comments made by John Baldwin, Mel Fuss, Erwin Diewert, two anonymous reviewers and members of the National Accounts Advisory Committee are acknowledged with thanks. The authors also thank Tom Blais and Dave Leblanc for useful insights on the treatment of water in the Canadian input-output tables. The usual disclaimers apply.

Table of Contents

Abstract **3**

Executive Summary **4**

I. Introduction **7**

II. The analytical framework **9**

III. Econometric implementation **11**

1. The specification 11
2. Description of the data 12
   2.1. The data sources *12*
   2.2. Analysis of the data *13*

IV. Results and implications **16**

1. Estimation 16
2. Implications of water intake on production structures 17
3. The effect of water recirculation on the results 21

V. Conclusion **25**

References **27**

Abstract

This paper develops a production framework that allows for self-supplied water intake, an unpriced 'natural' input. The framework is then exploited to estimate the corresponding water shadow prices and to assess the extent to which water impacts on the multifactor productivity performance of the Canadian business sector's industries. Accounting for water intake leaves the aggregate business sector's multifactor productivity growth virtually unchanged over the 1981-1996 period, but it increases the productivity performance of the largest water-using industries by 0.7 percentage points on average. The shadow price of water intake amounts to $0.73 cubic metre and varies significantly across industries. While the introduction of water recirculation, a kind of water recycling, does not alter in a significant way most of these results, it reduces the shadow price estimate to $0.55 cubic metre and improves its reliability particularly for the largest water-using industries. Water is found to be a substitute to capital and labour inputs, suggesting that more of these inputs are required to bring about savings in water use.

Keywords: productivity, eco-efficiency, water use

Executive Summary

Human societies relies upon water for a number of purposes. Obviously, access to potable water is critical for survival. In addition, water is used in production of goods and services, growing crops, producing electricity, providing habitat for wildlife, creating recreational opportunities, etc.

Canada is blessed with an apparent abundance of water. That perception influenced the types of technologies that are adopted in industrial facilities and the ways in which industrial-by-products and other residuals are disposed of. The combination of industrial development, population growth, global warming and environmental pollution makes the assumption of limitless of water problematic.

This paper focuses on water use by Canadian businesses over the 1981-1996 period. It asks the following three questions:

1. What is the industrial structure of water use in Canada?

   Canadian businesses use an enormous amount of water annually for a variety of purposes. The Canadian business sector took in 40.9 billion cubic metres in 1996, the most recent year for which water use data consistent with industry productivity data are available. The bulk of water intake is used for not only to produce marketable output (e.g. water is a crucial component of hydroelectric power production, agricultural output, beer, or canned food), but also to receive residuals discharge from the production process (e.g., chemical firms primarily use water to disposed of unwanted chemicals produced as by-products to the main output), the production of high pressure steam and crude oil enhanced recovery. Relatively small amounts of water are used in-plant for sanitation.

   Water use in the Canadian business sector is unevenly distributed. Self-supplied water intake represents approximately 95% of total business sector water intake with the remainder coming from public utilities. Large, self-supplied industries carry out the bulk of water intake at virtually no cost. They are the focus of this study. These industries withdraw water directly from rivers, lakes and groundwater rather relying on municipal water utilities to supply them. Self-supplied water intake requires a permit from a provincial government that, once issued, cannot be transferred to other users and cannot be altered easily. Seven industries—utility, agriculture, paper, primary metal, chemical, mining and refined petroleum—account for 96% of total recorded water intake in 1996 while accounting for about ¼ of nominal gross output.

   Water recirculation, a form of recycling, is an important consideration of water use of the Canadian business sector. Over the 1981-1996 period, recirculation represented on average 40.2% of the whole business sector's water intake, compared to 37.4% for the seven largest water-using industries.

2. What is the value of water?

Although water is the subject of different uses by the business sector, the economic features of industrial water use have not received the same scrutiny as residential water use for example. While some work has been done to model businesses' water demands, little is known about the particular issue of the value of water-use in industrial settings and the factors that influence these values. As a result, while it is commonly believed that industrial water use is a relatively high value application of water, there is actually relatively little empirical evidence to support this.

There are a number of challenges that confront any effort to estimate the value of industrial water use. While there are a limited number of jurisdictions where market transactions may yield information on the price of bulk water sales or leases, in most jurisdictions, self-supplied firms pay virtually nothing for their raw water input. Furthermore, much of the expenditure undertaken by firms to use water (filtration, pumping, on-site storage, etc.) is rarely reported in water use surveys.

One of the contributions of this paper is the estimation of intake water's shadow price within an industry cost structure. We combine information on water, non-water inputs and real output in order to estimate a restricted cost function in which non-water inputs are variable inputs while intake water is treated as a quasi-fixed factor. Intake water is treated as a quasi-fixed factor in order to reflect regulatory constraints that limit water use by self-supplied Canadian businesses. The shadow value of the quantity of intake water is derived from the estimated cost function and provides an estimate of the marginal value of intake water to each industry of the business sector.

This paper's attention is restricted to estimating firms' (private) valuation of their water use. This value should approximate a firm's marginal willingness to pay for intake water and, as such, provides a minimum bound on the firm's valuation of marginal quantities of intake water. The shadow price of water intake is statistically significant and amounts to $0.73 per cubic metre for all industries considered in this study. There is a wide variation of the shadow price across all industries, a reflection of differences in the marginal benefits that arise from the use of water as a 'free' or cheap input. Although the shadow prices are positive for the seven intensive water-using industries, they are significant only for utility, agriculture, chemicals and refined petroleum. Within these four industries, utility, the largest water-using industry, reported the highest shadow price at $0.95 per cubic metre, about twice that of agriculture, the second largest water-using industry.

In addition to contributing to the literature concerned with the value of water in a variety of industries with different water needs, this study also investigates the factors that influence the magnitude of intake water's shadow value in the business sector. One factor that is particularly important is recirculation. Accounting for recirculation, reduced the shadow price dropped significantly from $0.73 per cubic metre to $0.55 per cubic metre. In addition, the shadow price estimates for the majority of the largest water-using industries became more statistically significant, reflecting the importance of water recirculation in the measurement of water use shadow prices.

3. Eco-efficiency

Eco-efficiency measures the extent to which economic activity efficiently uses the environment as a free, or cheap, input. In the context of water use, eco-efficiency can be measured in two different, albeit complementary, ways: a) a partial indicator such as real output per unit of water use and b) a broader indictor—multifactor productivity—which not only accounts for water and non water resources employed in the production process. In this context, multifactor productivity represents the growth in the output that is not accounted by the combined growth of marketed inputs (capital, labour and intermediate inputs) and water intake, a natural input for which no market price is available.

Over the 1981-1996 period, the average annual growth rate of eco-efficiency varied across these seven largest water using industries. Chemical industries, primary metal and paper and allied products reported important eco-efficiency gains (8.6%, 4.5% and 3.4%, respectively), reflecting the presence of a water saving technology. In contrast, other utility and agriculture, the largest water users, reported a slight decline in eco-efficiency (-0.4% and -0.34%, respectively).

Under the broader framework, multifactor productivity growth for the entire business sector is not affected by the introduction of water use. In contrast, for the largest water using industries, accounting for water improves multifactor productivity by five percentage points. This is a reflection of the efficiency gain in water use reported by some important industries.

This story holds even when we account for recirculation. In some sense, this suggests that the measurement framework adopted in this study remains robust to alternate specifications.

I. Introduction

Economic growth, global warming and declining regulatory budgets all contribute to a growing concern regarding water intake in Canada. Water plays an important role in the production processes of Canadian businesses (cooling, producing high-pressure steam, sanitation, as a direct input like in beer production and waste disposal), but a large body of the economic literature has contended that this use has been inefficient (see Renzetti and Dupont 1995). The causes of inefficient use of water are several, but are largely related to improper pricing of water resource. For the most part, firms face virtually a zero price (or a very low minimal one) for their use of water as a natural resource input. This is true both for firms purchasing their water from municipal water utilities and, particularly, those that are self-suppliers of water (i.e., they withdraw directly from either a surface or groundwater source)—the dominant source of water intake in Canada.

The impact of water intake on the productive performance of firms is an important issue for policymakers and productivity analysts interested in sustainable development. However, detailed evaluation is difficult as the price paid for water is either zero or well below its opportunity cost. Because the consumption of water involves true opportunity costs no less than does the consumption of labour, capital or material inputs, the standard multifactor productivity growth measure may be viewed as an incomplete barometer of how well society is allocating its scarce resources. The case for broadening multifactor productivity to multi-resources productivity is self-evident. The ultimate evaluation of sustainable development requires it.[1]

In this paper, we develop an approach to derive shadow values of water as a valuable input in a production process, which produces a socially valuable output (which is sold in the market). The contribution of this paper belongs to the tradition initiated by Solow in that it makes use of economic theory in order to infer from statistical data the information that would otherwise be missing. These shadow values are characterised as the amount producers would be willing, on the margin, to pay for the ability to use water as a free input. The magnitude of these economic benefits can therefore be examined by estimating the private costs that would be incurred in reducing water intake as a free input for a given level of the output.

Despite the ubiquity of water intake across the Canadian business sector's industries, there are surprisingly few studies that are concerned with the estimation of water intake shadow prices. This situation stands in contrast to the exhaustive analysis that has been applied to investigating the role of other forms of natural inputs such as mineral reserves in the productivity performance of mining firms (see Diaz and Harchaoui 1997 and the references therein). To date, the limited amount of work directed towards industrial water demand has been concerned with obtaining estimates of the price elasticity of demand for water and establishing the relationships between water and other inputs (see Renzetti and Dupont 1995 for a review of the literature on water).

1. See for example Gollop and Swinand (2001) in the case of bad outputs, Lasserre and Ouellette (1991) for mining reserves.

Unfortunately, these studies have not paid enough attention to the potential problems that arise from using the existing water prices. Water prices charged to firms are lower than the opportunity cost of the resources needed to provide the water resources. As a result, the demand for water sources is higher than socially necessary. Other contributions in the literature, best represented by Renzetti (1992) and Dupont and Renzetti (1999), devised shadow prices for water intake in the Canadian manufacturing sector for the 1981-1991 period. While their contribution is one of the few attempts that derived the private value for the use of water as a 'natural' input, their methodology imposes stringent assumptions on the technology of firms.[2] Recently, Renzetti and Dupont (2002) have used provincial data for manufacturing to estimate shadow prices for water intake and the factors that influence them, such as water treatment. The prices are found to be quite small, albeit statistically significant.

Our paper adds to the existing literature on industrial water intake in Canada in several ways.

First, we cover most of the Canadian business sector's industries for the 1981-1996 period. This includes some important water-using manufacturing industries such as paper, primary metal, refined petroleum and coal products and chemical. Other industries outside the manufacturing, such as utility and agriculture, which account for the bulk of water intake in Canada, are also considered in this study.

Second, we focus on self-supplied water intake which accounts for 96% of water intake in Canada, the remainder comes from public utilities. Self-supplied industries withdraw water directly from rivers, lakes and groundwater rather than relying on municipal water utilities to supply them. This water resource is more interesting from the public policy perspective because no prices are charges for the services rendered. In contrast, water supplied by municipalities comes at a cost per cubic metre which is already part of the intermediate expenses of our data set.

Third, we use a unified framework to estimate the private shadow prices of water intake and their relationships to the demand for produced inputs and the output. The estimates of the shadow prices depend on both the technological substitution possibilities and the input demand and output supply behaviour underlying industry production processes. We also examine how the introduction of water recirculation into this framework, a form of water recycling, affects the shadow price of water.

Fourth, in addition to the estimates of the elasticities of substitution between water and produced inputs, and the scale economies, we derive a measure of multifactor productivity growth that accounts for water intake. The measurement of the water shadow price and its impact on the economic performance of businesses suggest that efforts to examine these possible links are overdue.

---

2. To derive the shadow price of water Renzetti (1992) and Renzetti and Dupont (1995) only considered expenditures on intake-related activities such as screening and treatment; these expenditures are in-plant operations and maintenance. The technology underlying water use is therefore assumed to be independent from that for the production of goods. As it will become clear later, our empirical framework does not impose this assumption. A more adequate treatment is provided in Renzetti and Dupont (2002).

The paper is structured in the following way. Section II provides the specification and estimation of our econometric model, while Section III discusses the data and provides background information on water intake by Canadian businesses. Section IV presents the empirical results and ascertains their robustness to the introduction of water recirculation—a sort of water recycling—into the framework. Concluding remarks are drawn in Section V.

II. The analytical framework

Self supplied industries use water as a natural free input in their production process (see Pearse *et al.* 1985). In order to capture industries' willingness to pay for water intake, it is instructive to begin with a characterisation of the industry's cost structure, a representation of how produced inputs and unpriced water intake are used in the production process.

We consider a restricted (or short-run) cost function in which self-supplied water is treated as a quasi-fixed input. This characterization of the technology is motivated by the existing regulatory constraints that restrict firms' ability to alter intake water quantities. The short-run cost function takes the general form $G(Y,w,W,D,t)$ where Y is the output;[3] w is the nominal price vector of conventional inputs (labour, L; capital, K; intermediate inputs, U) and W is the quantity of water intake; D is a vector of dummy variables corresponding to fixed effects for each industry; and t is a time trend. The total cost function measures the expenditures made by an industry on all costly inputs, i.e. labour, capital, and intermediate inputs. It does not include the cost of water pollution associated with effluent discharge because this information is not available. Under this framework, firms are assumed to choose their inputs so as to minimise the short-run cost function. The choice is conditioned on the level of output and the volume of water use, which may not be altered in the short run.[4] Another way to motivate this kind of specification of the technology is as follows: the variable W is included in the cost function on the realisation that conventional inputs and a natural input are used to produce output Y, or, conversely, that the 'environment' is used as a free of charge input used by producers when they intake water. However, if private producers had to pay a price for water intake in the same way as they pay for market inputs, they would probably use water more sparingly, substituting paid inputs for it.

Our approach focuses on private production costs. The associated private shadow values z of water intake i.e. the cost saving from using water as a free input, may be measured as the cost effects $-\frac{\partial G}{\partial W} = z$. This shadow value reflects the marginal amount the producer would be willing to pay for the right to increase W. From a reverse perspective, z represents the input costs that would be incurred on the margin if a decrease in W was imposed. So, we expect that $z > 0$.

Applying Shepard's lemma to $G(Y,v,W,D,t)$ generates the associated input demand equations and the input cost shares s_j (j = capital (K), labour (L), and intermediate inputs (U)). The

3. The study did not consider pollution emission associated with water use because of the lack of adequate data.

4. Self-supplied water requires a permit from a provincial government that, once issued, cannot be transferred to other users. Moreover, these permits specify a maximum annual water withdrawals that sets an upper bound on firms' water intake.

framework allows us to gain insights into a variety of cost elasticities that capture the existence of economies of scale in the Canadian business sector and the extent to which water intake impacts on conventional inputs.

Scale economies SE, a measure of output cost elasticity is defined as

$$SE = \left(\frac{\partial \ell nG}{\partial \ell nY} \right)^{-1} \equiv \varepsilon_{G,Y}^{-1}. \tag{1}$$

If SE is equal to (is greater than) (is less than) 1, the technology used exhibits constant (increasing) (decreasing) returns to scale.

The estimated elasticities of substitution between water intake W and the produced input $j = K, L, U$ are given by

$$\varepsilon_{W,j} = \frac{\partial \ell nG}{\partial \ell nW} + \frac{\left(\frac{\partial^2 \ell nG}{\partial \ell nW \partial \ell nw_j} \right)}{\left(\frac{\partial \ell nG}{\partial \ell nw_j} \right)}. \tag{2}$$

The cross-price elasticities shown above, based on Allen partial elasticities of substitution, are calculated on the assumption that output is fixed while all other inputs are allowed to vary. If $\varepsilon_{W,j}$ is positive (negative), water is a substitute (complement) to the input j.

Turning now to the productivity framework, traditionally, the parametric approach to productivity measurement disentangles any movement along the cost function due to overall scale economies from the shift of the cost function due to technical change. In addition to these components, our framework allows for water intake which captures the shift in the cost function that results from an efficient (inefficient) use of water by businesses. Formally, multifactor productivity change is defined as

$$\dot{MFP} = \dot{Q} - \sum_j s_j \dot{x}_j, \tag{3}$$

where Q and x_j are, respectively, the output and the input j in constant prices.

Total differentiating $G = \sum_j w_j x_j$ with respect to time and substituting the expression $\sum_j s_j \dot{x}_j$ in (3) we get:

$$\dot{MFP} = \left(1 - \varepsilon_{G,Y}\right)\dot{Y} - \dot{G} - \varepsilon_{G,W}\dot{W}, \tag{4}$$

where $\varepsilon_{G,W}$ and $\varepsilon_{G,W}$ are, respectively, the elasticities of G with respect to output that water intake.

Equation (4) decomposes multifactor productivity growth into its two basic factors: First, the conventional parametric productivity growth $\left(1 - \varepsilon_{G,Y}\right)\dot{Y} - \dot{G}$ (i.e., a shift in the cost function due

to technical change $(-\dot{G})$ and a movement along the cost function due to scale economies $(1-\varepsilon_{G,Y})\dot{Y}$. Second, the effect of water intake $\dot{W}$ and its shadow price captured through $-\varepsilon_{G,W}$.

III. Econometric implementation

1. The specification

The basic building block of our model is a non constant returns to scale translog cost function normalised by the price of intermediate inputs. We assume that the technology of the industry is represented by a translog cost function of the following form:

$$\begin{aligned}\ell nG_{it} = {} & \alpha_i + \alpha_Y \ell nY_{it} + \frac{1}{2}\alpha_{YY}\left(\ell nY_{it}\right)^2 + \alpha_W \ell nW_{it} + \frac{1}{2}\alpha_{WW}\left(\ell nW_{it}\right)^2 \\ & + \sum_{s=K,L,U}\alpha_{Ys}\ell nY_{it}\ell n(w_{ist}) + \sum_{s=K,L,U}\alpha_{Ws}\ell nW_{it}\ell n(w_{ist}) + \alpha_{YW}\ell nY_{it}\ell nW_{it} \\ & + \sum_{s=K,L,U}\alpha_s \ell n(w_{ist}) + \frac{1}{2}\sum_{s=K,L,U}\sum_{s'=K,L,U}\alpha_{ss'}\ell n(w_{ist})\ell n(w_{is't}) \\ & + \alpha_t t + \alpha_{tt}t^2 + \sum_{s=K,L,U}\alpha_{ts}\ell n(w_{ist})t,\end{aligned} \tag{5}$$

and the derived share equations are

$$s_{ist} = \alpha_i + \alpha_{Ys}\ell nY_{it} + \alpha_{ws}\ell nW_{it} + \sum_{s=K,L,U}\alpha_{ss'}\ell n(w_{ist}) + \alpha_{st}t,\ s = K,L,U. \tag{6}$$

The subscript s denotes the variable inputs K,L,U -capital, labour, intermediate input-while i is an industry index and α_i is an industry fixed effect. In this framework, labour input, measured in terms of hours worked, is assumed to be optimally adjusted within a year. A similar assumption is made for the intermediate inputs and capital services.

Using the equations (2) and (5), the elasticities of substitution between water and other types of inputs have the following specification

$$\varepsilon_{W,s} = \alpha_W + \alpha_{WW}\ell nW_{it} + \alpha_K \ell nw_K + \alpha_L \ell nw_L + \alpha_U \ell nw_U, \text{ for } s = K,L,U.$$

The estimation model consists of equation (5), from which we construct the shadow prices of water intake and a variety of measures of the technology structure, along with the share equations for normalised capital, labour and intermediate inputs. The share equation of intermediate inputs is obtained residually because of the constraint that variable cost shares must sum to one.

We have pooled time-series and cross section data for 36 two-digit Canadian industries for the years 1981, 1986, 1991 and 1996 to estimate the model. Estimating the model as a pooled system not only adds structure to the model (additional degrees of freedom) but also imposes cross-equation restrictions to allow a fully integrated cost structure and input-demand model, facilitating more efficient estimates. Seemingly unrelated regressions (SUR) techniques were

used for estimation, since the equations share common parameters. SUR also ensure that estimates are not sensitive to the choice of the numeraire (here a Fisher price index of intermediate inputs) since they achieve maximum likelihood estimates.

2. Description of the data

2.1. The data sources

The data set is based on an extended version of Statistics Canada's publicly available KLEMS database developed on an experimental basis to support research themes on productivity and environmental issues.[5] The Environmental KLEMS (E-KLEMS) database is based on two different sources driven by the input-output tables, thereby facilitating their integration.

First, data on the value of gross output and the costs of labour, capital services and intermediate inputs, as well as their Fisher chain price indices come from the Canadian productivity accounts. These accounts produce a consistent data set on inputs cost, Fisher chain volume indices of output and inputs (KLEMS data) and productivity measures for a number of Canadian business sector industries over the 1981-1997 period.

Household survey data are used to disaggregate total hours into hours worked by different types of workers classified by demographic variables such as age and education. Assuming that workers are paid proportionately to the value of their marginal products, labour input is calculated as a weighted sum of hours worked by different types of workers, weighted by relative wage rates.

The capital input estimates are computed in accordance with a service flow concept for physical capital assets. The rental price of capital used to derive the flow of services of 28 category of assets is composed of an external rate of return (the three-month Treasury Bill rate), capital gains, depreciation rate and tax parameters such as the corporate income tax and investment tax credits. Estimates of capital services represent an aggregation of capital stock across assets where the weight for each asset type is based on the share of property income estimated to be accruing to that asset type in each industry averaged over 2 years. Property income in each industry is allocated to asset types by employing estimates of the rental price of each asset type.

Out of the 47 two-digit industries that make up the business sector, we retained only 37 of them whose measurement of output is suitable for productivity measurement.[6]

The second source of information, obtained from Statistics Canada's environment accounts (see Statistics Canada 1997a, b), comprises data for the years 1981, 1986, 1991 and 1996 on water intake, water use, water recirculation and water discharge at a detailed industry level. These data, which cover both publicly supplied and self-supplied establishments of the Canadian business

5. KLEMS stands for capital (K), labour (L), energy (E), materials (M) and services (S).

6. Finance and real estate, insurance, amusement and recreational service, accommodation and food services, health and social service, business service, personal and household service and educational service have been excluded.

sector, are based on a series of joint Environment Canada/Statistics Canada surveys on industrial water use in Canada.

Publicly supplied establishments receive water from a water utility whereas self-supplied establishments receive water directly from the natural bodies of water (streams, lakes, or groundwater). The expenditures associated with water intake depend on whether the firm is publicly or self-supplied. If the firm is connected to a public utility, then it must pay the utility's annual connection fee and its per unit charges for water intake, which are part of the intermediate inputs reported in this study.

A self-supplied firm does not face an external cost for its water unless it is located in British Columbia, Saskatchewan and Nova Scotia which are the only provinces in Canada that charge royalties for direct water abstractions (see Tate and Scharf 1991). In general, natural resources royalties are treated in the Canadian system of national accounts (CSNA) as a payment for using the services of a natural primary input and, as a result, are part of capital compensation.[7] But in the case of water royalties no information is presently available in the CSNA.

All water-using firms also face expenditures related to their internal water use. There are the costs of water treatment prior to use (e.g., minerals must be removed if water is to be used to produce high-pressure steam) and expenditures associated with water treatment prior to discharge. These expenditures are considered as intermediate expenditures associated with water use in our dataset. Because water is jointly utilised with labour, capital and other types of intermediate inputs, these expenditures alone cannot be considered as the unique source of information to estimate water intake shadow price (unless one assumes a separable technology, which is arguably a stringent assumption).

We appended data on water intake from self-supplied sources to the data on output and input for the 37 industries which have an output measure reliable for productivity analysis. Out of these industries, we excluded the fishing and trapping industry which does not seem to use water. Table 1 lists the 36 industries along with their descriptive statistics.

2.2. Analysis of the data

The E-KLEMS used in this paper is a panel dataset of 144 observations consisting of data on costs and volumes on produced inputs and output, and water intake as a priceless natural input for 36 industries for the years 1981, 1986, 1991 and 1996.

Table 1 provides the average levels of total cost and average annual growth rates of real output, water intake, and real prices of conventional inputs and cost shares for the period 1981-1996.

7. This is the case for oil and gas royalties, for example. See Diaz and Harchaoui (1997).

Table 1. Summary statistics, 1981-1996

Industry	G ($ millions)	s_K	s_L	s_U	$\dot{\omega}_K$	$\dot{\omega}_L$	$\dot{\omega}_U$	$\dot{K}$	$\dot{L}$	$\dot{U}$	$\dot{Y}$	$\dot{W}$
					Percentage							
Agricultural and related service	29.32	0.24	0.21	0.55	-4.21	2.22	1.48	-1.93	0.71	1.57	2.32	2.66
Logging and forestry	8.07	0.12	0.33	0.55	1.53	-0.10	-0.50	-1.99	0.31	4.16	2.87	1.88
Mining	11.73	0.34	0.26	0.40	1.40	2.78	1.93	-0.35	-1.39	0.25	1.40	0.58
Crude petroleum and natural gas	21.58	0.66	0.09	0.25	6.05	4.91	8.46	2.82	2.51	3.10	3.88	-1.43
Quarry and sand pit	1.05	0.27	0.28	0.45	0.92	1.76	-1.23	0.67	0.60	2.08	2.12	1.34
Services incidental to mineral	4.49	0.18	0.35	0.47	1.55	0.82	-1.00	1.42	2.49	1.22	0.90	-0.76
Food	38.81	0.12	0.15	0.74	1.91	0.82	-0.52	0.89	0.53	1.46	1.15	0.44
Beverage	5.70	0.26	0.20	0.54	3.13	0.77	-1.12	-1.47	-1.48	1.11	0.41	-1.98
Tobacco products	1.99	0.28	0.15	0.57	7.19	0.61	-4.68	-2.47	-4.18	-0.28	-1.64	-4.43
Rubber products	3.11	0.08	0.32	0.60	2.75	2.38	3.20	1.39	-0.03	2.77	3.63	-5.96
Plastic products	5.57	0.14	0.24	0.62	2.71	1.05	1.84	5.10	4.43	5.77	5.26	-3.31
Leather and allied products	1.15	0.09	0.32	0.59	3.19	0.34	-9.75	-2.13	-4.81	-4.91	-4.81	-5.77
Primary textile	3.04	0.16	0.23	0.61	2.46	2.31	4.82	-0.55	-2.09	0.10	0.35	-1.77
Textile products	2.90	0.11	0.26	0.63	2.87	1.13	0.00	-0.19	-0.36	0.79	0.27	2.44
Clothing	6.03	0.12	0.31	0.57	2.53	0.80	-1.27	0.40	-1.71	-0.14	-0.25	-2.45
Wood	14.82	0.08	0.26	0.65	2.11	-2.31	1.77	1.70	1.51	3.57	1.56	-6.48
Furniture and fixture	4.10	0.11	0.32	0.57	4.58	0.07	-1.81	0.99	0.96	1.89	1.74	-0.32
Paper and allied products	22.56	0.14	0.22	0.64	2.22	1.26	-0.15	1.13	-0.50	2.11	1.84	-1.56
Printing, publishing and allied	11.66	0.17	0.36	0.47	3.95	-1.17	-1.72	2.37	1.86	1.93	0.64	0.90
Primary metal	23.19	0.07	0.21	0.72	0.84	2.94	0.14	-0.66	-1.87	1.89	2.07	-2.46
Fabricated metal products	17.02	0.12	0.29	0.59	2.83	0.62	-1.41	0.45	1.00	0.93	0.95	-1.59
Machinery (except electrical mach)	10.45	0.14	0.29	0.57	4.53	0.40	0.75	0.84	0.73	2.03	1.60	-0.21
Transportation equipment	53.36	0.08	0.18	0.74	4.05	1.51	4.27	3.71	1.98	6.24	6.01	-3.34
Electrical and electronic products	19.30	0.13	0.25	0.62	2.11	4.35	2.02	3.48	-0.45	7.33	6.94	-1.93
Non-metallic mineral products	6.57	0.16	0.27	0.57	3.17	0.19	-6.97	-2.27	-0.60	0.45	0.13	1.20
Refined petroleum and coal products	20.05	0.05	0.04	0.90	4.58	4.75	-0.49	-1.14	-3.32	0.48	-0.04	-2.74
Chemical and chemical products	22.01	0.19	0.16	0.64	2.84	1.10	0.66	0.35	0.84	1.97	2.20	-6.40
Other manufacturing	6.94	0.13	0.28	0.59	3.42	0.75	-1.64	2.81	1.10	1.54	1.32	-0.15
Construction	80.74	0.08	0.33	0.58	3.20	-0.30	-1.26	1.17	0.76	-0.01	0.08	0.12
Transportation	38.74	0.14	0.36	0.50	0.28	0.43	3.14	1.84	1.64	2.26	2.73	1.18
Pipeline transport	3.19	0.68	0.12	0.20	1.52	3.99	2.11	3.01	1.89	2.99	5.64	0.46
Storage and warehousing	1.23	0.22	0.46	0.32	2.80	0.50	-0.47	1.53	1.79	1.62	1.61	0.90
Communication	22.49	0.35	0.38	0.27	0.57	0.81	5.74	4.72	2.23	5.49	4.95	1.21
Other utility	22.97	0.60	0.20	0.20	-0.75	-0.83	-3.56	1.97	2.60	5.37	2.69	3.09
Wholesale trade	42.71	0.19	0.48	0.34	5.99	1.61	0.59	2.99	2.53	4.54	4.89	1.24
Retail trade	48.36	0.13	0.54	0.33	4.78	0.16	-0.44	3.67	1.84	2.76	2.61	1.30
All industries	637.02	0.20	0.27	0.53	2.44	0.79	0.70	1.78	1.19	2.51	2.49	1.70
The 7 largest water-using industries[a]	196.347	0.23	0.19	0.58	0.02	1.52	-0.13	0.50	0.12	0.02	1.68	1.78

Notes: s_j = input j share in total cost $(j = K, L, U)$. For the sake of illustration, we assumed that the shares sum to one; the symbol '.' represents the average growth rate of the variable over the 1981-1996 period; K = capital services; L = labour services; U = intermediate inputs; Y = gross output; W = water intake.

[a] Agriculture, mining, paper, primary metal, refined petroleum and coal products, chemical and utility.

The average value of gross output produced by these 36 industries between 1981 and 1996 was $637 billion with a wide variation across industries. Construction, transportation equipment and trade industries, representing more than 1/3 in terms of nominal output, are amongst the largest industries of the 36 industries retained in this study. Other industries such as tobacco and leather and allied products are relatively small.

At the aggregate level, intermediate inputs account for more than half of the total cost, whereas the shares of labour and capital averaged, respectively, 27% and 20%. Input cost shares vary substantially among the 36 industries. For example, labour compensation's share ranges from a low of about 4% in refined petroleum products to a high of 54% in retail trade industries. Capital compensation's share of total cost also varies considerably across industries, ranging from 5% in refined petroleum products to 68% in pipeline transport industries and 66% in crude petroleum and natural gas. Generally, capital compensation's share of total cost, with a few exceptions (most notably crude petroleum and natural gas, pipeline transport and other utility industries) is less than labour compensation's share. Intermediate inputs on the other hand, have the largest share in total cost in almost all industries, ranging from 20% in utility to 90% in refined petroleum and coal products.

The aggregate output grew at 2.49% over the 1981-1996 period. This is higher than the 1.78% and 1.19% reported, respectively, by capital and labour inputs, but slightly lower than the 2.51% posted by the intermediate inputs. Combining the information on cost shares and the growth of these inputs yields a 2% growth of combined inputs which, compared to the output growth of 2.49%, gives rise an average multifactor productivity gain of 0.49% (under the constant returns to scale assumption).

The rates of growth of output and inputs shown in Table 1 also vary among industries over this period. In leather and allied products and tobacco products industries, the growth of output was negative. Other industries, such as textile and beverage, show a lacklustre growth of output. A number of industries, such as plastic products, transportation equipment, electrical and electronic products, and communication, experienced output growth rates over 3%. These fast growing industries also reported a rapid growth for capital and labour inputs, and vice versa for other industries with a modest output growth.

The diversity in the growth pattern of output and inputs across industries suggests that industries have experienced different degrees of change in their input mix, in the output and in productivity growth. Similar patterns of negative, small and rapid growth rates are visible in the growth rates of labour, capital and intermediate inputs. The growth rates of input prices, with few exceptions, were generally positive but varied considerably across industries.

Canadian businesses use water for a variety of purposes. These include cooling and transporting intermediate inputs, producing steam, producing electricity, sanitation and, finally, for inclusion in the businesses' output (e.g., beer production). The business sector's water intake reached 40.9 billion cubic metres in 1996, up from 32.5 in 1981. This 1.53% average annual growth of water intake, compared to the 2.49% annual average increase in output, gives rise to a favourable advance in eco-efficiency growth at 0.96% per year—a measure of how efficiently economic activity is using water as a 'free input'.

The distribution of water intake is quite uneven across the business sector. Seven industries account for 96% on average over the 1981-1996 period of the overall water self-supplied. These are utility (65.9%), agriculture (10.1%), paper (7.1%), primary metal (4.7%), chemical (4.5%), mining (1.5%) and refined petroleum (1.2%).

These seven largest water-using industries, which represent 23.8% in terms of gross output of the business sector retained in this study, report some distinct features compared to the remaining industries. With -0.05% on average, these intensive water-using industries posted a moderate decline in eco-efficiency growth (1.78% increase in water intake, compared with 1.68% increase of real output), compared to 0.79% for the business sector (1.70% increase in water intake, compared with 2.49% increase of real output).

These seven industries also rely more on intermediate inputs (58% of gross output, compared with 53% for the business sector) and more on capital input (23% vs. 20%) but less on labour (19% vs. 27%). This is the result of a more favourable increase in the relative prices of intermediate inputs and capital input in comparison to the business sector (0.02% vs. 2.44%, -0.13% vs. 0.7%, respectively, for capital and intermediate inputs). These industries reported a lower growth of output (1.68%) and inputs (0.5%, 0.12% and 0.02%, respectively, for capital, labour and intermediate inputs) than the overall business sector but a significantly higher multifactor productivity growth at 1.5% on average during the 1981-1996 period (under the constant returns to scale assumption).

Eco-efficiency growth varied across these seven industries, with the highest growth posted by chemical industries (8.6%), followed by primary metal (4.53%), paper and allied products (3.4%), suggesting the implementation of water saving technology that promotes water recycling.[8] In contrast, other utility and agriculture, the largest water users, reported a decline in eco-efficiency (-0.4% and -0.34%, respectively).

IV. Results and implications

1. Estimation

The system of equations to estimate consists of the cost function (5) and the share equations for $i = K, L$ and E given by (6). The share equation for intermediate inputs is obtained residually from the constraint that cost shares must sum to one. We have pooled time-series and cross section data for the 37 industries for the period 1981-1996 to estimate the model. Estimating the model as a pooled system adds degrees of freedom, but also imposes cross-equation restrictions taking the form of common parameters. This can be dealt with using seemingly unrelated regressions techniques; we used a non linear version of the procedure.

8. More on water recycling in Section IV.2 below.

Instrumental variables (IV) are also used to take into account potential output endogeneity or errors in variables. The IV technique usually relies on lagged exogeneous variables as instruments. We corrected for first-order autoregressive disturbances (Durbin-Watson tests indicated that autocorrelated errors were present in the cost and input demand equations) making use of lagged values of exogenous variables. Therefore, the correction for autocorrelation of residuals may be interpreted as use of the IV technique. Specifically, incorporating the lagged dependent variable into the cost equation gave the form $\ell n\left(\frac{G_h}{w_{sh}}\right)_t = \beta_{oh}(D_h) + \beta Z_t + \rho \ell n\left(\frac{G_h}{w_{sh}}\right)_{t-1} + u_t$ which in turn implies, after suitable substitutions, the following form $\ell n\left(\frac{G_h}{w_{sh}}\right)_t = \beta_{oh}(D_h)(1+\rho) + \beta(Z_t + \rho Z_{t-1}) + (u_t + \rho u_t)$ where Z_t refers to the vector of right-hand variables in (5), β refers to the corresponding vector of parameters, and ρ is the coefficient of autocorrelation. A similar formula applies to the share equations (6). Our results, available on request, have also employed White's heteroskedastic-consistent covariance matrix to generate standard errors.

2. Implications of water intake on production structures

The substantial diversity in the growth of outputs, inputs and structure of costs among the industries over the period 1981-1996 provides a rich body of data to test econometrically the impact of using water as a free input on productivity performance growth and the related performance indicators of these industries. Therefore, using the parameter estimates of our econometric model, we expect to find our results (elasticities, shadow prices of water and multifactor productivity growth rates) to vary considerably across industries. These inter-industry variations motivate the use of a specification that captures industry idiosyncrasies.

Cost elasticities and shadow prices for water intake are presented in Table 2. The last two rows give a weighted average across the business sector and across the seven largest water-user industries over the 1981-1996 period. The business sector's cost elasticity is 0.76, which is indicative of the presence of scale economies. There is, however, a wide variation across industries ranging from 1.52 in tobacco to 0.58 in refined petroleum products. Tobacco is the only industry that displayed decreasing returns to scale (0.66), all other industries reported reasonable and statistically significant increasing returns to scale. These seven industries are no exception. Their average cost elasticity is slightly lower than the business sector's average (0.76), albeit with a much smaller range (between 0.84 for chemical industries and 0.58 for refined petroleum products).

Table 2 also reports the estimates of technical change, the elasticities of substitution and the shadow prices by industry. The results indicate a moderate but statistically significant technical progress of 5% for the business sector with a wide range across industries. Industries, such as electrical and electronic products and telecommunications, that produce high-tech products reported the highest change in technical progress over the 1981-1996 on average (8% and 7%, respectively). Others, such as wholesale and transportation, also reported as an impressive technical change as these high tech industries over the same period (7%).

Table 2. Average estimates of cost elasticities and shadow prices, 1981-1996

Industry	$\varepsilon_{G,Y}$	ε_{t}	$\varepsilon_{W,K}$	$\varepsilon_{W,L}$	z (in $ per cubic metre)
Agricultural and related service	0.76 (3.44)	-0.05 (4.67)	0.17 (4.81)	0.18 (5.67)	0.46 (1.75)
Logging and forestry	0.87 (3.19)	-0.06 (4.84)	0.21 (8.13)	0.22 (9.00)	0.91 (2.16)
Mining	0.62 (3.12)	-0.05 (4.40)	0.11 (9.31)	0.12 (9.98)	0.35 (1.12)
Crude petroleum and natural gas	0.86 (2.03)	-0.06 (5.45)	0.36 (3.24)	0.37 (3.73)	0.95 (3.56)
Quarry and sand pit	0.73 (3.37)	-0.06 (4.89)	0.23 (9.52)	0.23 (2.19)	0.86 (2.28)
Services incidental to mineral extraction	0.58 (2.83)	-0.04 (3.33)	-0.16 (3.02)	-0.15 (2.32)	0.55 (1.55)
Food	0.70 (3.31)	-0.05 (4.14)	0.04 (3.58)	0.06 (4.96)	0.15 (0.48)
Beverage	0.52 (2.68)	-0.05 (3.78)	-0.04 (3.62)	-0.03 (2.76)	-0.20 (0.41)
Tobacco products	1.52 (2.26)	-0.03 (2.40)	-0.41 (2.39)	-0.39 (3.29)	0.93 (2.03)
Rubber products	0.85 (2.17)	-0.06 (4.93)	0.23 (9.76)	0.24 (2.86)	1.29 (2.37)
Plastic products	0.91 (3.01)	-0.07 (6.24)	0.53 (4.36)	0.54 (4.32)	0.67 (5.30)
Leather and allied products	0.99 (1.98)	-0.02 (1.65)	-0.63 (4.38)	-0.61 (4.35)	0.92 (3.09)
Primary textile	0.62 (2.98)	-0.04 (3.50)	-0.12 (9.62)	-0.11 (8.69)	-0.34 (1.12)
Textile products	0.77 (3.36)	-0.05 (4.01)	0.01 (0.78)	0.02 (1.81)	0.04 (0.16)
Clothing	0.60 (2.97)	-0.04 (3.70)	-0.07 (5.50)	-0.06 (4.60)	-0.21 (0.60)
Wood	0.86 (1.94)	-0.05 (3.93)	-0.01 (0.91)	0.00 (0.27)	-0.02 (0.03)
Furniture and fixture	0.66 (3.24)	-0.05 (4.34)	0.09 (7.82)	0.10 (8.73)	0.38 (0.98)
Paper and allied products	0.61 (3.09)	-0.05 (4.44)	0.12 (10.02)	0.13 (11.03)	0.49 (1.23)
Printing, publishing and allied	0.72 (3.36)	-0.05 (4.28)	0.08 (6.59)	0.09 (7.29)	0.32 (0.82)
Primary metal	0.86 (2.97)	-0.05 (4.37)	0.09 (8.06)	0.11 (9.48)	0.39 (1.04)
Fabricated metal products	0.59 (3.00)	-0.05 (3.90)	-0.02 (1.46)	-0.01 (0.53)	-0.04 (0.12)
Machinery (except electrical mach)	0.62 (3.03)	-0.04 (3.58)	-0.10 (7.99)	-0.09 (7.12)	-0.33 (0.92)
Transportation equipment	0.95 (1.87)	-0.07 (6.68)	0.62 (5.30)	0.63 (5.73)	0.84 (6.23)
Electrical and electronic products	0.95 (1.75)	-0.08 (7.01)	0.69 (3.51)	0.70 (4.48)	0.75 (6.92)
Non-metallic mineral products	0.76 (3.25)	-0.04 (3.63)	-0.08 (6.90)	-0.07 (6.05)	-0.22 (0.79)
Refined petroleum and coal products	0.58 (2.75)	-0.04 (3.13)	-0.22 (7.86)	0.17 (3.68)	0.48 (2.06)
Chemical and chemical products	0.84 (1.70)	-0.05 (4.64)	0.17 (4.31)	0.18 (5.41)	0.31 (1.70)
Other manufacturing	0.66 (3.24)	-0.05 (4.29)	0.08 (6.75)	0.09 (7.66)	0.30 (0.85)
Construction	0.68 (3.18)	-0.05 (3.74)	-0.06 (4.83)	-0.05 (3.76)	-0.16 (0.50)
Transportation	0.68 (3.25)	-0.06 (4.84)	0.21 (8.34)	0.22 (9.12)	0.79 (2.18)
Pipeline transport	0.87 (2.38)	-0.07 (6.22)	0.52 (4.23)	-0.54 (4.40)	0.52 (5.25)
Storage and warehousing	0.70 (3.32)	-0.05 (4.25)	0.07 (6.09)	0.08 (6.63)	0.26 (0.75)
Communication	0.87 (2.67)	-0.07 (6.25)	0.53 (4.90)	0.54 (4.81)	0.48 (5.33)
Other utility	0.81 (3.48)	-0.06 (5.05)	0.26 (2.01)	-0.27 (2.76)	0.95 (2.66)
Wholesale trade	0.87 (2.70)	-0.07 (6.13)	0.50 (4.23)	0.51 (4.81)	0.48 (5.07)
Retail trade	0.71 (3.33)	-0.06 (4.90)	0.23 (9.47)	0.23 (2.16)	0.88 (2.31)
All industries	0.76 (2.85)	-0.06 (4.81)	0.24 (4.98)	0.21 (4.96)	0.73 (2.19)
The 7 largest water-using industries[a]	0.70 (2.96)	-0.05 (4.37)	0.17 (4.50)	0.06 (5.61)	0.76 (2.24)

Note: [a] Agriculture, mining, paper, primary metal, refined petroleum and coal products, chemical and utility.

$\varepsilon_{G,Y}$ = scale elasticity; ε_{t} = technical change; $\varepsilon_{W,K}$ = capital-water elasticity of substitution; $\varepsilon_{W,L}$ = labour-water elasticity of substitution; z (in $ per cubic metre) = shadow price of water intake; t statistics are in brackets.

Additional insights on the technology structure of the industries covered in this study can also be found in the results on the elasticity of substitution. Positive cross elasticities indicate substitutability (and vice versa for complementarity); as the price of capital (labour) decreases, for example, the usages of both capital (labour) and water increase. The capital-water and labour-water elasticities are significantly positive for the business sector (0.24 and 0.21, respectively), reflecting that a decline in water intake requires more capital (labour). The substitutability between capital and water has also been found in Dupont and Renzetti (1999) but the order of magnitude of their elasticities are three times higher than ours, reflecting differences in the methodology and the type of data used.

The estimates of the elasticity of substitution vary significantly across industries. For the majority of the seven largest water-using industries, water is a substitute to labour and capital inputs. Utility and refined petroleum and coal products are, however, the two exceptions where labour and capital are, respectively, complement to water. Amongst the seven largest water-using industries, utility reported the highest elasticities of substitution (in absolute terms) (0.26 and -0.27, respectively, for capital and labour), followed by agriculture and chemical products (0.17 and 0.18). Although utility, the largest water-using industry, reported the highest elasticities of substitution, the results do not reveal a direct link between the intensity of water use and the extent to which primary inputs substitute for water.

The shadow price of water intake was significant and amounted to $0.73 per cubic metre for the whole business sector, slightly lower than the one reported by the seven industries ($0.76 per cubic metre). Half of the 36 industries reported positive and statistically significant shadow prices, albeit with different order of magnitude. This reflects different marginal benefits that arise from the use of water as a free input. Although the shadow prices are positive for the seven intensive water-using industries, they are significant only for utility, agriculture, chemicals and refined petroleum. Within this group of industries, utility, the largest water-using industry, reported the highest shadow price at $0.95 per cubic metre, about twice that of agriculture, the second largest water-using industry.[9]

Before proceeding to the multifactor productivity results, it is useful to compare these results to those of Renzetti and Dupont (2002) who reported estimates of shadow prices for intake water using pooled data from three cross-sectional surveys (1981, 1986 and 1991) on plant-level water use by Canadian manufacturing 2-digit industries for each province. These estimates are obtained from the estimation restricted cost function for Canadian manufacturing in which capital, labour, energy, materials and water recirculation and water treatment are variable inputs and the quantity of water intake is a quasi-fixed input.

Their data come from two different sources: First, Statistics Canada's Annual Survey of Manufactures (ASM) at the provincial level for two-digit industries. To derive the estimates of total cost of production by industry, the authors maintain the identity between gross output and total cost of input (assumption of constant returns to scale). Given that the ASM data are published only in current prices, the authors make use of variety of output and inputs price indexes required by their restricted cost function. Under this assumption of constant returns to

9. The confidence intervals for the estimated shadow prices $0.73 per cubic metre for all industries and $0.95 per cubic metre for the seven largest water-using industries are, respectively, 0.55-0.84 and 0.89-1.08.

scale, it follows that the user cost of capital employed to measure the services price of capital is constructed under the assumption of internal rate of return. Second, data on water use come from Environment Canada's Industrial Water Use Survey available at the plant level available on a quinquennial basis. These data are then aggregated to the two-digit industry level for each province to be consistent with the ASM data.

Table 3. Multifactor productivity growth, 1981-1996 (average annual growth rate)

Industry	With water intake	Without water intake
Agricultural and related service	3.0	1.8
Logging and forestry	1.2	-1.0
Mining	3.6	3.3
Crude petroleum and natural gas	4.3	4.5
Quarry and sand pit	4.2	2.6
Services incidental to mineral extraction	1.9	1.4
Food	0.6	0.5
Beverage	-1.5	-1.8
Tobacco products	8.3	7.7
Rubber products	5.2	9.8
Plastic products	3.7	6.1
Leather and allied products	-2.9	-4.0
Primary textile	-2.2	-3.0
Textile products	-3.9	-4.1
Clothing	-6.0	-6.5
Wood	-1.2	-1.2
Furniture and fixture	5.0	5.1
Paper and allied products	7.0	7.8
Printing, publishing and allied	-2.3	-2.7
Primary metal industries	0.0	1.0
Fabricated metal products industries	1.5	1.4
Machinery (except electrical mach)	5.8	5.7
Transportation equipment industries	-0.1	2.7
Electrical and electronic products industries	1.9	3.9
Non-metallic mineral products industries	-4.2	-3.7
Refined petroleum and coal products	-4.1	-6.3
Chemical and chemical products industries	0.9	4.3
Other manufacturing industries	2.2	2.3
Construction industries	-4.1	-4.1
Transportation industries	10.4	9.1
Pipeline transport industries	10.2	9.8
Storage and warehousing Industries	3.1	2.8
Communication industries	7.2	6.0
Other utility industries	3.3	-1.7
Wholesale trade industries	5.0	6.0
Retail trade industries	6.0	6.2
All industries	2.0	2.1
The 7 largest water-using industries[a]	2.2	1.5

Note: [a] Agriculture, mining, paper, primary metal, refined petroleum and coal products, chemical and utility.

Time period, industry coverage, consistency in the data sources, methodological differences and estimation technique make a definitive reconciliation to our results impossible. For example, our data cover a significant portion of the business sector considered by the official Canadian productivity accounts. We not only cover the two-digit industries of the manufacturing sector, but also agriculture, mining, utilities and non financial services industries. Agriculture and utilities are particularly important to consider in any study on water use since these two industries account for ¾ of the overall self-supplied water during the 1981-1996 period. Our data are based on the E-KLEMS database, an integrated and coherent source of information in both current and constant prices that is more adequate for studies on the impact of economic activity on environment at the national level (see Section III.2). For example, the user cost of capital employed in our data is derived on the basis of the external rate of return method, the only way that is consistent with the non-constant returns to scale assumption that underlies our cost function.[10] Finally, even though both of Renzetti and Dupont (2002) and our study employed a Zellner SUR procedure, our IV econometric estimation technique controls for any problem that may arise from spurious correlation and endogeneity.

Turning now to the multifactor productivity growth estimates reported in Table 3. The results reported in Table 3 indicate that the productivity performance of the 36 industries over the 1981-1996 period averaged 2.1% when water is not accounted for, compared with 2.0% when water is part of the input set. When we restrict the sample to the seven largest water-using industries, productivity growth increases from 1.5% to 2.2% on average over the 1981-1996. The largest increase took place in utility industries (from -1.7% to 3.3%), followed by agriculture (from 1.8% to 3.0%).

3. The effect of water recirculation on the results

The empirical framework used so far has only considered water intake obtained from self-supplied sources. While self-supplied water constitutes the most important source of water used by the Canadian business sector, the issue of water recirculation (recycling) has been overlooked so far. But as the data indicate, water recirculation is an important consideration of water use of the Canadian business sector. Out of the 40.9 million cubic metre of self-supplied water used by the Canadian business sector in 1996, 51% have been recycled. This represents an important increase since 1981 when the recirculation ratio was 43.5%. Although this ratio declined quite significantly in 1986 (37.6%) and 1991 (29.6%), recirculation still remains important as it represented 40.2% of water intake of the business sector on average for the 1981-1996 period. Similarly, with 37.4% over the same period, recirculation was equally important for the seven largest water-using industries.

10. This means that the internal user cost method employed by Renzetti and Dupont (2002) is not consistent with their non-constant returns to scale cost function. Only a constant returns to scale cost function, that is, (in the authors' own notation on page 10), $\frac{C}{Q_w} = C(P_i, Q_W, T, Z), i = K, L, E, M, R, T_r$, is consistent with the notion of internal rate of return (see Harchaoui and Tarkhani 2002 for more details).

Given the importance of recirculation, it is critical to examine the following two questions: first, how robust are the results obtained earlier to the introduction of water recirculation in the framework? Second, what is the effect of water recirculation on the shadow prices of water use in Canada? These questions have important implications for the framework used in this paper. Consider first the question whether the account for water recirculation would alter in a significant way the results previously obtained. This clearly would suggest that the model is poorly specified as it is quite sensitive to any alternate assumption regarding the behaviour of the industries with respect to water use, with the result that the estimates will be unreliable or, at best subject, to a great deal of uncertainty. This leads to the second question addressed in this section: does water recirculation affect the shadow price of water use? Intuitively, the more recycling performed on water use, the less businesses will be willing to pay for water. As a result, accounting for water recirculation should reduce the shadow price of water, all things being equal elsewhere.

Our initial empirical framework has been amended along the following two changes: First, water use, defined as the sum of water intake plus recirculation, is substituted for water intake in the estimation of the equation system (5) and (6). Second, a dummy variable was appended to the variable water use in the equation (5) to reflect the fact that water recirculation involves a different type of technology across industries. Under these changes, the total cost function (5) then becomes

$$\begin{aligned} \ell nG_{it} = {} & \alpha_i + \alpha_Y \ell nY_{it} + \frac{1}{2}\alpha_{YY}\left(\ell nY_{it}\right)^2 + \alpha_W^1 \ell nWU_{it} + \frac{1}{2}\alpha_{WW}^1\left(\ell nWU_{it}\right)^2 \\ & + \alpha_W^2 \ell nWU_{it} * D_{it} + \frac{1}{2}\alpha_{WW}^2\left(\ell nWU_{it} * D_{it}\right)^2 + \sum_{s=K,L,U} \alpha_{Ys} \ell nY_{it} \ell n(w_{ist}) \\ & + \sum_{s=K,L,U} \alpha_{Ws} \ell nWU_{it} \ell n(w_{ist}) + \alpha_{YW} \ell nY_{it} \ell nWU_{it} + \sum_{s=K,L,U} \alpha_j \ell n(w_{ijt}) \\ & + \frac{1}{2}\sum_{s=K,L,U}\sum_{s'=K,L,U} \alpha_{ss'} \ell n(w_{is't}) \ell n(w_{ist}) + \alpha_t t + \alpha_{tt} t^2 + \sum_{s=K,L,U} \alpha_{ts} \ell n(w_{ist}) \end{aligned} \tag{7}$$

where $WU_{it}\left(\equiv W_{it} + REC_{it}\right)$ is water use defined as the sum of water intake $\left(W_{it}\right)$ and water recirculation $\left(REC_{it}\right)$; D_{it} is a dummy variable that takes the value 1 if water recirculation is used and 0 otherwise. The impact of water recirculation on the cost function operates through two channels: first, the more water is recirculated the higher is the total cost G_{it} (a quantity effect); second, the use of a dummy variable D_{it} suggests that with water recirculation, the industry makes use of a different technology compared to the case where it only intakes water. As a result, the shadow price of water use, along with other indicators of the technology structures and economic performance are affected by the combination of these two effects. The corresponding results are reported in Tables 4 and 5.

Table 4. Average estimates cost elasticities and shadow prices with recirculation, 1981-1996

Industry	$\varepsilon_{G,Y}$	ε_t	$\varepsilon_{W,K}$	$\varepsilon_{W,L}$	z (in $ per cubic metre)
Agricultural and related services	0.74 (3.14)	-0.04 (4.55)	0.16 (3.03)	0.17 (3.47)	0.44 (1.82)
Logging and forestry	0.89 (2.41)	-0.06 (3.97)	0.23 (3.24)	0.19 (3.10)	0.88 (2.60)
Mining	0.71 (2.24)	-0.05 (3.10)	0.12 (3.12)	0.17 (2.58)	0.26 (1.99)
Crude petroleum and natural gas	0.89 (2.56)	-0.06 (4.59)	0.29 (2.87)	0.30 (2.63)	0.75 (2.67)
Quarry and sand pit	0.73 (1.99)	-0.06 (3.82)	0.20 (4.04)	0.29 (2.09)	0.83 (2.01)
Services Incidental to mineral extraction	0.67 (1.89)	-0.04 (2.89)	-0.11 (5.05)	-0.20 (2.52)	0.50 (1.60)
Food	0.70 (2.47)	-0.03 (3.57)	0.06 (2.34)	0.10 (3.76)	0.32 (0.96)
Beverage	0.51 (2.01)	-0.05 (3.89)	-0.03 (1.93)	-0.09 (2.06)	-0.07 (0.89)
Tobacco products	1.38 (3.18)	-0.03 (2.05)	-0.33 (2.47)	-0.41 (3.59)	1.04 (2.45)
Rubber products	0.89 (2.14)	-0.05 (3.21)	0.25 (3.87)	0.30 (2.76)	0.99 (2.41)
Plastic products	0.95 (2.76)	-0.07 (4.44)	0.49 (2.24)	0.48 (3.22)	0.66 (4.24)
Leather and allied products	0.98 (2.06)	-0.04 (1.50)	-0.44 (2.12)	-0.56 (3.45)	0.85 (2.88)
Primary textile	0.63 (3.17)	-0.04 (3.27)	-0.18 (3.75)	-0.14 (3.89)	-0.29 (1.89)
Textile products	0.76 (2.61)	-0.05 (3.28)	0.09 (1.57)	0.00 (1.41)	0.10 (0.83)
Clothing	0.63 (2.11)	-0.04 (2.08)	-0.12 (3.42)	-0.04 (3.50)	-0.33 (1.14)
Wood	0.86 (1.58)	-0.06 (3.12)	-0.02 (0.83)	0.05 (1.67)	-0.00 (0.19)
Furniture and fixture	0.67 (2.55)	-0.05 (4.14)	0.11 (2.14)	0.14 (2.83)	0.41 (1.75)
Paper and allied products	0.73 (2.23)	-0.05 (2.67)	0.20 (3.01)	0.11 (3.23)	0.31 (2.09)
Printing, publishing and allied	0.77 (3.31)	-0.04 (3.11)	0.07 (2.47)	0.12 (3.49)	0.28 (1.66)
Primary metal	0.92 (1.05)	-0.05 (2.12)	0.12 (3.17)	0.17 (2.58)	0.23 (2.03)
Fabricated metal products	0.62 (2.46)	-0.07 (2.90)	0.03 (1.79)	-0.06 (0.33)	-0.08 (0.49)
Machinery (except electrical mach)	0.62 (2.49)	-0.04 (3.88)	-0.16 (2.01)	-0.04 (3.42)	-0.37 (0.84)
Transportation equipment	0.94 (1.74)	-0.04 (4.32)	0.59 (3.47)	0.57 (2.83)	0.79 (3.67)
Electrical and electronic products	0.97 (3.05)	-0.06 (5.43)	0.60 (3.34)	0.59 (2.28)	0.69 (2.86)
Non-metallic mineral products	0.66 (2.71)	-0.04 (2.19)	-0.15 (2.83)	-0.10 (3.25)	-0.09 (0.99)
Refined petroleum and coal products	0.69 (3.03)	-0.04 (2.89)	-0.23 (2.17)	0.22 (2.98)	0.29 (2.33)
Chemical and chemical products	0.87 (2.15)	-0.06 (3.11)	0.11 (2.64)	0.24 (4.01)	0.33 (2.23)
Other manufacturing	0.61 (2.47)	-0.03 (4.31)	0.14 (3.29)	0.12 (3.36)	0.33 (1.49)
Construction	0.63 (2.99)	-0.05 (2.43)	-0.08 (4.14)	-0.03 (2.46)	-0.20 (0.73)
Transportation	0.73 (2.53)	-0.04 (3.01)	0.22 (3.55)	0.24 (3.62)	0.93 (3.02)
Pipeline transport	0.81 (1.89)	-0.06 (5.44)	0.47 (1.76)	-0.45 (2.70)	0.64 (2.39)
Storage and warehousing	0.70 (2.44)	-0.05 (1.99)	0.11 (3.20)	0.12 (2.23)	0.25 (1.49)
Communication	0.84 (3.11)	-0.06 (3.56)	0.49 (2.73)	0.51 (2.91)	0.55 (2.65)
Other utility	0.89 (2.71)	-0.06 (3.47)	0.35 (3.35)	-0.19 (3.36)	0.71 (2.08)
Wholesale trade	0.71 (3.09)	-0.04 (3.33)	0.51 (2.44)	0.44 (2.21)	0.55 (3.16)
Retail trade	0.76 (2.39)	-0.05 (2.56)	0.29 (3.58)	0.18 (3.76)	1.02 (2.65)
All industries	0.77 (2.53)	-0.05 (3.33)	0.24 (2.99)	0.19 (2.93)	0.55 (2.08)
The 7 largest water-using industries[a]	0.74 (2.57)	-0.05 (3.41)	0.18 (2.91)	0.07 (2.95)	0.57 (2.06)

Note: [a] Agriculture, mining, paper, primary metal, refined petroleum and coal products, chemical and utility.

$\varepsilon_{G,Y}$ = scale elasticity; ε_t = technical change; $\varepsilon_{W,K}$ = capital-water elasticity of substitution; $\varepsilon_{W,L}$ = labour-water elasticity of substitution; z (in $ per cubic metre) = shadow price of water use; t statistics are in brackets.

Table 5. Multifactor productivity growth with recirculation, 1981-1996 (average annual growth rate in percentage)

Industry	With water use	Without water use
Agricultural and related service	3.9	3.0
Logging and forestry	-2.6	-0.3
Mining	1.3	1.6
Crude petroleum and natural gas	2.5	2.2
Quarry and sand pit industries	2.3	3.9
Services incidental to mineral extraction	0.2	0.7
Food	2.4	2.5
Beverage	-2.2	-1.9
Tobacco products	4.8	5.4
Rubber products	7.2	2.6
Plastic products	0.8	-1.6
Leather and allied products	-6.0	-4.9
Primary textile	-2.9	-2.1
Textile products	-4.3	-4.0
Clothing	-6.0	-5.4
Wood	-2.5	-2.4
Furniture and fixture	4.8	4.7
Paper and allied products	4.2	3.4
Printing, publishing and allied	-2.1	-1.7
Primary metal	-1.2	-2.2
Fabricated metal products	-1.3	-1.3
Machinery (except electrical mach)	6.0	6.1
Transportation equipment	2.0	4.0
Electrical and electronic products	0.7	-1.3
Non-metallic mineral products	-2.9	-3.3
Refined petroleum and coal products	-6.4	-4.2
Chemical and chemical products	2.4	-1.1
Other manufacturing	5.5	5.4
Construction	-4.6	-4.6
Transportation	8.0	9.3
Pipeline transport	10.0	10.0
Storage and warehousing	2.7	3.1
Communication	9.6	10.8
Other utility	3.0	3.0
Wholesale trade	5.0	5.0
Retail trade	4.6	6.0
All industries	**1.6**	**1.8**
The 7 largest water-using industries[a]	**1.3**	**0.8**

Note: [a] These industries are: agriculture, mining, paper, primary metal, refined petroleum and coal products, chemical and utility.

Although there are some changes at the industry level as a result of the introduction of water recirculation, the initial aggregate results for cost elasticity, technical change, capital (labour)-water elasticity and multifactor productivity growth remained virtually intact (see Table 4). There is, however, one important change in the results: the value of the shadow price dropped significantly from $0.73 per cubic metre to $0.55 per cubic metre. In addition, the shadow price estimates for the majority of the largest water-using industries became more significant, reflecting the importance of water recirculation in the measurement of water use shadow prices.[11]

The effect of recirculation on multifactor productivity growth, reported in Table 5, leaves almost intact the story laid out earlier on the basis of the results of Table 3—while multifactor productivity growth for all industries remains almost unchanged for all industries when water is accounted for, it significantly increased for the most intensive water using industries. To some extent this suggests that measurement framework adopted in this study remains robust to alternate specification changes.

V. Conclusion

This paper has specified a model of the production structure where industries make use of conventional inputs and unpriced water intake to produce a given amount of production. The estimation methodology covers a comprehensive portion of the Canadian business sector that includes the largest water-using industries for 1981, 1986, 1991 and 1996.

The primary purpose of this paper is to account for water intake in the production structure of Canadian businesses and to quantify the extent to which it affects productivity performance. The flexibility of the approach undertaken in this paper allowed us to touch on a variety of issues related to water use. These are: a) the technological structures between water intake and the conventional inputs; b) the economies of scale, c) the shadow prices of water intake, and the effect of recirculation on these shadow prices.

We found that when allowance is made for water intake in the production structure multifactor productivity growth of the largest water-using industries increases by 0.7 percentage points on average over the 1981-1996 period, but leaves that of the aggregate business sector virtually unchanged (see Table 3). Water intake is a complement to capital and labour inputs. The shadow price of water intake is about $0.73 cubic metre and varies significantly across industries.

We also found that introducing water recirculation leaves most of the results unchanged which, in some sense, is indicative of the robustness of our framework. However, in accordance with our priors, recirculation brings water's shadow price down to $0.55 per cubic metre. The difference between these two estimates can be considered as an indication of willingness to pay for water recycling.

---

11. The confidence interval for the estimated shadow price of $0.55 per cubic metre is 0.48-0.60. This again confirms the fact that accounting for recirculation makes the shadow price estimates less subject to uncertainty.

The discussion of the dimensions of water use in this study was related to the manner in which the quantity of water used by industries is conceptualized and measured by the data collection vehicles. Despite the substantial efforts expended by Statistics Canada's Environment Statistics Accounts in producing the sorts of water use data employed in this paper, there are still significant gaps in our knowledge regarding specific features of water use.

First, the data are almost a decade out of date. Second, it is clear that the use of water is frequently tied closely to water quality—in the sense of water's physical, biological and chemical characteristics. Therefore, if the relationship between the desired quantity of water use and economic factors such as prices is to be modeled and measured then quality of water should be accounted for. Unfortunately, to the best of our knowledge, no available source presently compiles water quality characteristics that can be reflected in our measurement framework.

References

Diaz, A. and T.M. Harchaoui. 1997. "Accounting for Exhaustible Resources in the Canadian System of National Accounts: Flows, Stocks and Productivity Measures". *Review of Income and Wealth* 43: 465-85.

Dupont, D. and S. Renzetti. 1999. "The Role of Water in the Canadian Manufacturing Sector". pp. 15, Paper Presented at the IWREC Conference, June 1999, Kona, Hawaii.

Gollop, F. and G. Swinand. 2001. "Total Resource Productivity: Accounting for Changing Environmental Quality.' In New Directions in Productivity Analysis. Edited by E. Dean, M. Harper and C. Hulten. Conference on Research in Income and Wealth. NBER.

Harchaoui, T.M. and F. Tarkhani. 2002. 'A Comprehensive Revision of the Capital Input Methodology for Statistics Canada's Multifactor Productivity Program,' in Baldwin, J.R. and T.M. Harchaoui (eds.): Productivity growth in Canada—2002, Statistics Canada, Catalogue No. 15-204-XPE.

Lasserre, P. and P. Ouellette. 1991. "The Measurement of Productivity and Scarcity Rents: The Case of Asbestos in Canada", *Journal of Econometrics* 48: 287-312.

Pearse, P.H., F. Bertrand and J.W. MacLaren. 1985. Current Change. Final Report. Inquiry on Federal Water Policy. Ministry of Supply and Services, Ottawa.

Renzetti, S. 1992. "Estimating Structure of Industrial Water Demands: The Case of Canadian Manufacturing". *Land Economics*, 68, 4, pp. 396-404.

Renzetti, S. and D. Dupont. 1995. "An Investigation Into the Design of Economic Instruments to Promote Efficient Industrial Water Use". 125 p. A Report for Environment Canada's Economic Instruments Initiatives. Environment Canada, Ottawa.

Renzetti, S. and D. Dupont. 2002. "The Value of Water in Manufacturing". pp. 32, mimeo, Brock University.

Seckler, D., R. Barker and U. Amarasinghe. 1999. "Water Scarcity in the Twenty-First Century," International Journal of Water Resources Development, 15 (1/2): 29-42.

Statistics Canada 1997a. *Econnections: Linking the Environment and the Economy, Concepts, Sources and Methods of the Canadian System of Environmental and Resource Accounts*, Catalogue No. 16-505-GPE.

Statistics Canada 1997b. *Econnections: Linking the Environment and the Economy, Indicators and Detailed Statistics 1997*, Catalogue No. 16-200-XKE.

Tate, D.M. and D.N. Scharf. 1991. "Water Use in Canadian Industry, 1991". Environment Canada, Social Science Series No. 31.

ECONOMIC ANALYSIS (EA)
RESEARCH PAPER SERIES

No. 001 *A Comparison of Canada-U.S. Economic Growth in the Information Age, 1981-2000: The Importance of Investment in Information and Communication Technologies,* ***Philip Armstrong, Tarek M. Harchaoui, Chris Jackson and Faouzi Tarkhani (March 1, 2002)***

No. 002 *Purchasing Power Parity: A Canada/U.S. Exploration,* ***Beiling Yan (May 2002)***

No. 003 *The Trend to Smaller Producers in Manufacturing: A Canada/U.S. Comparison,* ***John Baldwin, Ron S. Jarmin, Jianmin Tang (May 2002)***

No. 004 *Foreign Affiliate Trade Statistics – 1999: How Goods and Services are Delivered in International Markets,* ***Balance of Payments Division, Colleen Cardillo (April 2002)***

No. 005 *Regional Manufacturing Employment Volatility in Canada: The Effects of Specialization and Trade,* ***John Baldwin and W.Mark Brown (April 11, 2003)***

No. 006 *Growth History, Knowledge Intensity and Capital Structure in Small Firms,* ***G.Gellatly, S.Thornhill, A.Riding (August 6, 2003)***

No. 007 *Accounting for Greenhouse Gases in the Standard Productivity Framework,* ***Tarek Harchaoui, Dmitry Kabrelyan and Rob Smith (November 1, 2002)***

No. 008 *Overcoming Distance, Overcoming Borders: Comparing North American Regional Trade,* ***W.Mark Brown (April 16, 2003)***

No. 009 *Assessing the Impact of Greenhouse Gas Emissions on Canada's Productivity Growth, 1981-1996: An Expermental Approach,* ***Tarek M. Harchaoui and Pierre Lasserre (November 1, 2002)***

No. 010 *A Frontier Approach to Canada-U.S. Multifactor Productivity Performance,* ***Kaïs Dachraoui, Tarek M. Harchaoui (April 3, 2003)***

No. 011 *Participation in Export Markets and Productivity Performance in Canadian Manufacturing,* ***John R.Baldwin, Wulong Gu (August 13, 2003)***

No.012 *Impact of Advanced Technology Use on Firm Performance in the Canadian Food Processing Sector,* ***John R.Baldwin, David Sabourin and David Smith (June 3, 2003)***

No.013 *Foreign Affiliate Trade Statistics – Canadian Operations Abroad, 1999 to 2001-* ***Balance of Payments Division, by Michael Marth (May 2003)***

No.014 *The Effect of Tariff Reductions on Firm Size and Firm Turnover in Canadian Manufacturing,* ***Wulong Gu, G.Sawchuk, L.Whewell (August 19, 2003)***

No.015 *The Sources of Growth of the Canadian Business Sector's CO2 Emissions, 1990-1996,* ***by Kaïs Dachraoui, Gerry Gravel, Tarek M. Harchaoui and Joe St. Lawrence (September 2003)***

No.016 *The Impact of Self-employment on Labour Productivity Growth: A Canada and United States Comparison,* ***John R. Baldwin, James Chowhan (August 21, 2003)***

No.017 *Public Capital and Its Contribution to the Productivity Performance of the Canadian Business Sector,* ***Tarek M. Harchaoui and Faouzi Tarkhani (November 12, 2003)***

No.018 *Prosperity and Productivity: A Canada-Australia Comparison,* ***Tarek M. Harchaoui, Jimmy Jean and Faouzi Tarkhani (December 9, 2003)***

No.019 *Hollowing-out, trimming-down or scaling-up? An Analysis of head Offices in Canada, 1999-2002,* ***John Baldwin, Desmond Beckstead and Mark Brown (December 8, 2003)***

No.020 *The Effect of Changing Technology Use on Plant Performance in the Canadian Manufacturing Sector,* ***John Baldwin and David Sabourin (July 27, 2004)***

No.021 *Industrial Competition, Shifts in Market Share and Productivity Growth.* ***John Baldwin and Wulong Gu (July 22, 2004)***

No.022 *Innovation, Survival and Performance of Canadian Manufacturing Plants,* ***John Baldwin and Wulong Gu (September 2004)***

No.023 *Renewing Canada's Manufacturing Economy: A Regional Comparison, 1973-1996,* ***W.Mark Brown (October 21, 2004)***

No.024 *Catching Up and Falling Behind: The Performance of Provincial GDP per Capita from 1990 to 2003,* ***John R. Baldwin, Mark Brown, Jean-Pierre Maynard, Danielle Zietsma (November 9, 2004)***

No.025 *Whatever Happened to Canada-U.S. Economic Growth and Productivity Performance in the Information Age?* ***Tarek M. Harchaoui and Faouzi Tarkhani (November 23, 2004)***

No.026 *Water Use, Shadow Prices and the Canadian Business Sector Productivity Performance,* ***Kaïs Dachraoui and Tarek M. Harchaoui (December 1, 2004)***

Analyse économique

Documents de recherche

Utilisation de l'eau, prix fictifs et productivité du secteur canadien des entreprises

par Kaïs Dachraoui et Tarek M. Harchaoui

N° 026

Statistics Canada Statistique Canada

Canada

SÉRIE DE DOCUMENTS DE RECHERCHE SUR L'ANALYSE ÉCONOMIQUE

La série de documents de recherche sur l'analyse économique permet de faire connaître les travaux de recherche effectués par le personnel du Secteur des études analytiques et des comptes nationaux, les boursiers invités et les universitaires associés. La série de documents de recherche a pour but de favoriser la discussion sur un éventail de sujets tels que les répercussions de la nouvelle économie, les questions de productivité, la rentabilité des entreprises, l'utilisation de la technologie, l'incidence du financement sur la croissance des entreprises, les fonctions de dépréciation, l'utilisation de comptes satellites, les taux d'épargne, le crédit-bail, la dynamique des entreprises, les estimations hédoniques, les tendances en matière de diversification et en matière d'investissements, les différences liées au rendement des petites et des grandes entreprises ou des entreprises nationales et multinationales ainsi que les estimations relatives à la parité du pouvoir d'achat. Les lecteurs de la série sont encouragés à communiquer avec les auteurs pour leur faire part de leurs commentaires, critiques et suggestions.

Les documents sont diffusés principalement au moyen d'Internet. Ils peuvent être téléchargés gratuitement sur Internet, à www.statcan.ca. Les documents faisant partie de la série sont diffusés dans les bureaux régionaux de Statistique Canada et aux coordonnateurs statistiques provinciaux.

Tous les documents de recherche de la Série d'analyse économique, passent à travers un processus d'évaluation des pairs et institutionnel, afin de s'assurer de leur conformité au mandat confié par le gouvernement à Statistique Canada en tant qu'agence statistique et de leur pleine adhésion à des normes de bonne pratique professionnelle, partagées par la majorité.

Les documents de cette série comprennent souvent des résultats issus d'analyses statistiques multivariées ou d'autres techniques statistiques. Il faut l'admettre, les conclusions de ces analyses sont sujettes à des incertitudes dans les estimations énoncées.

Le niveau d'incertitude dépendra de plusieurs facteurs : de la nature de la forme fonctionnelle de l'analyse multivariée utilisée; de la technique économétrique employée, de la pertinence des hypothèses statistiques sous-jacentes au modèle ou à la technique; de la représentativité des variables prises en compte dans l'analyse; et de la précision des données employées. Le processus de la revue des pairs vise à garantir que les articles dans les séries correspondent aux normes établies afin de minimiser les problèmes dans chacun de ces domaines.

Comité de révision des publications
Direction des études analytiques, Statistique Canada
18e étage, Immeuble R.-H. Coats
Ottawa, Ontario, K1A 0T6
(613) 951-1804

« Sous ces chiffres et groupements assez arides se cachent de grandes tragédies dues à la pénurie d'eau allant de la nécessité de porter de lourdes jarres remplies d'eau pendant plusieurs kilomètres chaque jour pour les besoins du ménage à la perte des terrains marécageux et des estuaires à cause de l'épuisement de l'eau en amont, en passant par la misère des agriculteurs qui perdent leurs terres parce qu'ils manquent d'eau pour éliminer les sels du sol. » [Traduction]
Seckler et coll. (1999)

Utilisation de l'eau, prix fictifs et productivité du secteur canadien des entreprises*

par

Kaïs Dachraoui et Tarek M. Harchaoui†

11F0027 N° 026
ISSN : 1703-0412
ISBN : 0-662-78440-5

Division de l'analyse micro-économique
18e étage, Immeuble R.H. Coats
Ottawa, K1A 0T6
Statistique Canada
Télécopieur (613) 951-3292
† (613) 951-9856
Courriel : harctar@statcan.ca

Décembre 2004

Le nom des auteurs est inscrit selon l'ordre alphabétique.

Publication autorisée par le ministre responsable de Statistique Canada

© Ministre de l'Industrie, 2004

Tous droits réservés. Il est interdit de reproduire ou de transmettre le contenu de la présente publication, sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, enregistrement sur support magnétique, reproduction électronique, mécanique, photographique, ou autre, oud e l'emmagasiner dans un système de recouvrement, sans l'autorisation écrite préalable des Services de concession des droits de licence, Division du marketing, Statistique Canada, Ottawa, Ontario, Canada K1A 0T6.

Also available in English

---

* Une version antérieure du présent document a été présentée à l'assemblée de 2002 de *La société canadienne de science économique*, à Aylmer et à l'atelier sur la productivité tenu à Ottawa en novembre 2002. Nous remercions John Baldwin, Mel Fuss, Erwin Diewert, et deux examinateurs anonymes et les membres du Comité consultatif des comptes nationaux de leurs commentaires. Nous remercions aussi Tom Blais et Dave Leblanc de leurs éclaircissements utiles sur le traitement de l'eau dans les tableaux d'entrées-sorties du Canada. Les avis de non-responsabilité habituels s'appliquent.

Table des matières

Résumé 3

Sommaire 4

I. Introduction 7

II. Cadre analytique 9

III. Application économétrique 11

1. Spécifications 11
2. Description des données 12
2.1. Sources des données *12*
2.2. Analyse des données *14*

IV. Résultats et conséquences 18

1. Estimation 18
2. Conséquences du prélèvement d'eau pour les structures de production 18
3. Effet de la recirculation de l'eau sur les résultats 23

V. Conclusion 27

Bibliographie 29

Résumé

Ce document développe un cadre de la mesure de la production qui tient compte de l'autoapprovisionnement en eau, un facteur « naturel » dont le prix n'est pas établi. On utilise par la suite ce cadre pour estimer les prix fictifs correspondants de l'eau et pour déterminer dans quelle mesure cette ressource a des répercussions sur la productivité multifactorielle du secteur des entreprises au Canada. Même en tenant compte de l'approvisionnement en eau, la croissance agrégée de la productivité multifactorielle du secteur des entreprises demeure à peu près inchangée au cours de la période de 1981 à 1996, mais la performance en matière de productivité des branches qui sont les plus grandes utilisatrices de cette ressource a augmenté de 0,7 point de pourcentage en moyenne. Le prix fictif de l'approvisionnement en eau s'est chiffré à 0,73 $ le mètre cube et a varié de façon significative selon la branche d'activité. Même si la recirculation de l'eau, une forme de recyclage, ne semble pas modifier de façon significative la plupart de ces résultats, elle entraîne une réduction du prix fictif à 0,55 $ le mètre cube et en améliore la fiabilité, particulièrement dans le cas des branches d'activité qui sont les plus grandes consommatrices d'eau. On a déterminé que l'eau constitue un substitut des intrants capital et travail, ce qui laisse supposer qu'un nombre plus important de ces intrants sont nécessaires pour réaliser des économies du point de vue de la consommation d'eau.

Mots clés : productivité, éco-efficacité, utilisation de l'eau

Sommaire

Les sociétés humaines dépendent de l'eau à de nombreux égards. Naturellement, l'accès à de l'eau potable est essentiel à la survie. En outre, l'eau est utilisée pour la production de biens et de services, les cultures, la production d'électricité, l'établissement d'un habitat pour la faune et la flore, la création d'activités de loisir, etc.

Le Canada a la chance de posséder des réserves d'eau qui paraissent abondantes. Cette perception a eu une incidence sur le genre de technologies qui sont adoptées par les établissements industriels et les moyens qu'ils utilisent pour éliminer les sous-produits industriels et d'autres résidus. Cependant, les effets conjugués du développement industriel, de la croissance de la population, du réchauffement planétaire et de la pollution de l'environnement rendent presque obsolète la thèse des réserves d'eau inépuisables.

Le présent article porte sur la consommation d'eau par les entreprises canadiennes durant la période allant de 1981 à 1996. Il vise à répondre aux trois questions suivantes :

1. Quelle est la structure industrielle de la consommation d'eau au Canada?

   Les entreprises canadiennes utilisent chaque année une quantité énorme d'eau à diverses fins. Le secteur canadien des entreprises a prélevé 40,9 milliards de mètres cubes d'eau en 1996, l'année la plus récente pour laquelle les données sur l'utilisation de l'eau cohérentes avec celles sur la productivité des industries sont disponibles. Le gros du prélèvement de l'eau est destiné non seulement à la production de biens commercialisables (p. ex. l'eau est une composante indispensable de la production d'énergie hydroélectrique, de produits agricoles, de bière ou d'aliments en conserve), mais aussi à recevoir les décharges de résidus provenant du processus de production (p. ex., les usines de produits chimiques utilisent principalement l'eau pour éliminer les produits chimiques indésirables que sont les sous-produits de la production principale), la production de vapeur sous haute pression et la récupération assistée du pétrole brut. Des quantités d'eau assez faibles sont utilisées pour la désinfection des usines.

   La répartition de la consommation d'eau par le secteur canadien des entreprises n'est pas uniforme. Le prélèvement d'eau par autoapprovisionnement représente environ 95 % du prélèvement total d'eau par le secteur des entreprises, le reste étant fourni par les entreprises de services publics. Les grandes branches d'activité autoapprovisionnées, qui procèdent à la plus grande partie du prélèvement d'eau, virtuellement sans frais, sont le centre d'intérêt de la présente étude. Ces branches d'activité captent directement l'eau dans les rivières, les lacs et les nappes souterraines, au lieu de s'approvisionner auprès des services municipaux de distribution d'eau. L'autoprélèvement d'eau nécessite un permis délivré par une administration provinciale qui, une fois émis, ne peut être transféré à d'autres utilisateurs et ne peut être modifié facilement. Sept branches d'activité, à savoir celles des services publics, de l'agriculture, du papier, des métaux de première transformation, des produits chimiques, des mines et des produits raffinés de pétrole, représentent 96 % du prélèvement global d'eau enregistré en 1996, mais seulement le quart environ de la production brute nominale.

La recirculation de l'eau, une forme de recyclage, est un aspect important de l'utilisation de l'eau du secteur canadien des entreprises. Durant la période 1981-1996, la recirculation a représenté en moyenne 40,2 % du prélèvement de l'eau de l'ensemble du secteur canadien des entreprises, comparativement à 37,4 % pour les sept industries les plus grosses consommatrices de l'eau.

2. Quelle est la valeur de l'eau?

Bien que l'eau soit utilisée à diverses fins par le secteur des entreprises, les caractéristiques économiques de la consommation industrielle d'eau n'ont pas été étudiées aussi minutieusement que celles de la consommation résidentielle, par exemple. Certains travaux ont été réalisés en vue de modéliser la demande d'eau des entreprises, mais on s'est fort peu préoccupé de la question de la valeur de la consommation industrielle d'eau et des facteurs qui influent sur cette valeur. Par conséquent, s'il est généralement considéré que la consommation industrielle d'eau est une application à valeur relativement élevée de l'eau, les données empiriques permettant d'appuyer cette thèse sont en fait assez rares.

Tout effort en vue d'estimer la valeur de la consommation industrielle d'eau pose plusieurs défis. Bien que le nombre de sphères de compétence où les transactions marchandes peuvent fournir des renseignements sur le prix des ventes ou de la location à bail d'eau en gros soit limité, dans la plupart des cas, les entreprises qui s'autoapprovisionnent ne paient presque rien pour l'eau brute qu'elles consomment. De surcroît, la plupart des dépenses qu'occasionne la consommation d'eau (filtrage, pompage, stockage sur place, etc.) sont rarement déclarées par les entreprises lors des enquêtes sur la consommation d'eau.

Une des contributions du présent article est l'estimation du prix fictif du prélèvement d'eau dans une structure de coût industriel. Nous combinons l'information sur l'approvisionnement en eau, les intrants autres que l'eau ainsi que la production réelle afin d'estimer la fonction de coût restreinte dans laquelle les intrants autres que l'eau sont des intrants variables, tandis que le prélèvement d'eau est traité comme un facteur quasi fixe. L'eau prélevée est traitée de la sorte afin de refléter les contraintes réglementaires qui limitent la consommation d'eau des entreprises canadiennes qui s'autoapprovisionnent. La valeur fictive de la quantité d'eau prélevée est calculée d'après la fonction de coût estimée et fournit une estimation de la valeur marginale de l'eau prélevée par chaque branche d'activité du secteur des entreprises.

Nous nous limitons, dans le présent article, à estimer l'évaluation (privée) de la consommation d'eau par les entreprises. Cette valeur constitue une approximation de ce que l'entreprise est marginalement disposée à payer pour le prélèvement d'eau et, en tant que telle, fournit une borne inférieure de la valeur accordée par l'entreprise aux quantités marginales d'eau prélevée. Le prix fictif du prélèvement de l'eau est statistiquement significatif et s'élève à 0,73 le mètre cube pour toutes les industries retenues dans cette étude. Il existe une grande variation dans le prix fictif entre les différentes industries, suggérant des différences dans les bénéfices marginaux issus de l'usage de l'eau comme intrant gratuit, ou peu coûteux. Bien que les prix fictifs sont positifs pour les sept industries les intensives en terme d'utilisation de l'eau, ils sont statistiquement significatifs seulement pour les services publics, l'agriculture, les industries chimiques et des produits raffinés du pétrole. Parmi ces quatre industries, celle des services publics, la plus grosse utilisatrice de l'eau, a affiché le

prix fictif le plus élevé à 0,95 $ le mètre cube. Ce prix est environ le double de celui de l'agriculture, la seconde plus importante industrie utilisatrice de l'eau.

En plus de contribuer à la littérature traitant de la valeur de l'eau dans une gamme de branches d'activité dont les besoins en eau diffèrent, le présent article vise à étudier les facteurs qui influent sur l'ordre de grandeur du prix fictif de l'eau prélevée par le secteur des entreprises. L'un des facteurs particulièrement important est la recirculation. La prise en compte de la recirculation a pour effet de réduire significativement le prix fictif de 0,73 $ le mètre cube à 0,55 le mètre cube. En outre, les estimations du prix fictif des sept industries les plus grosses utilisatrices de l'eau deviennent statistiquement plus significatifs, reflétant ainsi l'importance de la recirculation de l'eau dans la mesure des prix fictifs de l'utilisation de l'eau.

3. Éco-efficacité

L'éco-efficacité indique dans quelle mesure l'activité économique utilise efficacement l'environnement en tant qu'intrant gratuit ou peu coûteux. Dans le contexte de la consommation d'eau, on peut mesurer l'éco-efficacité de deux façons distinctes, quoique complémentaires : a) un indicateur partiel, tel que la production réelle par unité d'eau consommée et b) un indicateur plus général, appelé productivité multifactorielle, qui tient compte non seulement de l'eau mais aussi des autres ressources employées dans le procédé de production. Dans ce contexte, la productivité multifactorielle représente la croissance de la production qui n'est pas attribuable à la croissance combinée des intrants commercialisés (capital, main-d'œuvre et intrants intermédiaires) et le prélèvement d'eau, qui est un intrant naturel pour lequel il n'existe aucun prix du marché.

De 1981 à 1996, le taux annuel moyen de croissance de l'écoefficacité a varié dans les sept plus grandes branches d'activité consommant de l'eau. Les industries des produits chimiques, de la première transformation des métaux et du papier et des produits connexes ont affiché d'importants gains d'écoefficacité (8,6 %, 4,5 % et 3,4 %, respectivement) qui reflètent l'adoption de technologies destinées à économiser l'eau. Par contre, les industries des autres services d'utilité publique et de l'agriculture, qui sont les plus grosses consommatrices d'eau, ont déclaré une baisse d'écoefficacité (-0,4 % et -0,34 %, respectivement).

En faisant à ce cadre de travail plus général, la croissance de la productivité multifactorielle pour l'ensemble du secteur des entreprises demeure inchangée suite à l'introduction de la consommation d'eau. Par contre, pour les branches d'activité qui sont les plus grosses consommatrices d'eau, tenir compte de l'eau améliore la croissance de la productivité multifactorielle de cinq points. Ce résultat reflète l'augmentation de l'efficacité de la consommation d'eau déclarée par certaines branches d'activité importantes.

Ce message demeure valable même en prenant en considération la recirculation. Dans un certain sens, ceci suggère que le cadre de la mesure employé dans la présente étude demeure robuste à des spécifications alternative.

I. Introduction

La croissance économique, le réchauffement planétaire et la compression des budgets de réglementation sont des facteurs qui suscitent tous une inquiétude croissante en ce qui concerne la consommation d'eau au Canada. L'eau joue un rôle important dans les procédés de production des entreprises canadiennes (refroidissement, production de vapeur sous haute pression, désinfection, intrant direct dans la fabrication de la bière et évacuation des déchets), mais les auteurs de nombreux articles économiques soutiennent qu'elle est utilisée inefficacement (voir Renzetti et Dupont, 1995). Les causes de l'utilisation inefficace de l'eau sont multiples, mais liées en grande partie à l'établissement incorrect du prix de l'eau en tant que ressource. La plupart des entreprises payent un prix quasi nul (ou un prix minimal très faible) pour l'eau qu'elles consomment à titre d'intrant. Il en est ainsi des entreprises qui achètent leur eau aux services municipaux de distribution d'eau et, particulièrement, de celles qui s'autoapprovisionnent en eau (c-à-d. celles qui puisent directement l'eau d'une source superficielle ou souterraine), l'autoapprovisionnement étant la source principale de prélèvement d'eau au Canada.

L'effet du prélèvement d'eau sur la productivité des entreprises est une question importante pour les décideurs et les analystes de la productivité qui s'intéressent au développement durable. Cependant, il est difficile de procéder à une évaluation détaillée, car le prix payé pour l'eau est soit nul, soit nettement inférieur au coût de renonciation. Comme la consommation d'eau ne fait pas moins jouer des coûts de renonciation réels que la consommation de travail, de capital ou de matières premières, la mesure type de la croissance de la productivité multifactorielle peut être considérée comme un baromètre incomplet du succès avec lequel la société répartit ses ressources rares. L'argument en faveur de l'élargissement du concept de productivité multifactorielle pour passer à la productivité multiressources est évident. En fin de compte, l'évaluation du développement durable l'exige[1].

Dans le présent article, nous élaborons une approche en vue de calculer le prix fictif de l'eau en tant qu'intrant dans un procédé de fabrication qui aboutit à un produit de valeur pour la société (qui est vendu sur le marché). La contribution de l'étude relève de l'école de Solow, en ce sens qu'elle s'appuie sur la théorie économique pour inférer, d'après des données statistiques, l'information qui, autrement, ferait défaut. Le prix fictif est défini comme étant le montant marginal que les producteurs seraient prêts à payer pour avoir la capacité d'utiliser l'eau comme intrant gratuit. Par conséquent, on peut évaluer la grandeur de ces avantages économiques en estimant les coûts privés qui seraient subis si on réduisait le prélèvement d'eau en tant qu'intrant gratuit pour un niveau donné de production.

Bien que le prélèvement d'eau soit répandu dans toutes les branches d'activité du secteur canadien des entreprises, les études visant à estimer son prix fictif sont étonnamment rares. Par contre, on a analysé de façon exhaustive le rôle d'autres intrants naturels, comme les réserves minérales, dans la productivité des entreprises minières (voir Diaz et Harchaoui 1997 ainsi que les références mentionnées dans ce document). Jusqu'à présent, les travaux limités portant sur la

1. Voir par exemple Gollop et Swinand (2001) dans le cas de la production « indésirable », Lasserre et Ouellette (1991) pour les réserves minières.

demande industrielle d'eau ont visé à estimer l'élasticité-prix de la demande d'eau et d'établir la relation entre l'eau et les autres intrants (voir Renzetti et Dupont 1995 pour une revue de la littérature sur l'eau).

Malheureusement, les auteurs de ces travaux n'ont pas accordé suffisamment d'attention aux problèmes que peut poser l'utilisation des prix existants de l'eau. Les prix de l'eau facturés aux entreprises sont inférieurs au coût de renonciation des ressources requises pour fournir les ressources hydriques. Par conséquent, la demande de sources d'eau est plus élevée qu'il n'est socialement nécessaire. D'autres articles publiés, représentés le mieux par Renzetti (1992) et par Dupont et Renzetti (1999), décrivent l'établissement du prix fictif de l'eau consommée par le secteur canadien de la fabrication de 1981 à 1991. Bien que ces travaux représentent l'une des rares tentatives en vue d'établir la valeur privée du prélèvement d'eau comme intrant « gratuit », la méthodologie appliquée impose des hypothèses restrictives concernant la technologie utilisée par les entreprises[2]. Récemment, Renzetti et Dupont (2002) ont utilisé des données provinciales sur le secteur de la fabrication pour l'estimation des prix fictifs du prélèvement d'eau et les facteurs qui les influencent, comme le traitement de l'eau. La valeur de ces prix est assez faible, quoique statistiquement significative.

Le présent article étoffe de plusieurs façons la littérature existante sur la consommation industrielle d'eau au Canada.

Premièrement, nous couvrons la plupart des branches d'activité du secteur canadien des entreprises durant la période allant de 1981 à 1996, y compris certaines branches de la fabrication qui sont de grandes consommatrices d'eau, comme celles du papier, de la première transformation des métaux, des produits raffinés du pétrole et du charbon et des produits chimiques. D'autres branches d'activité n'appartenant pas au secteur de la fabrication, comme celles des services publics et de l'agriculture, qui représentent le gros du prélèvement d'eau au Canada, sont également visées par l'étude.

Deuxièmement, nous nous concentrons sur le prélèvement d'eau par autoapprovisionnement, qui représente 96 % du prélèvement d'eau au Canada, le reste étant fourni par les services publics. Les branches d'activité autoapprovisionnées captent directement l'eau dans les rivières, les lacs et les nappes souterraines, au lieu de dépendre des services municipaux de distribution d'eau. Du point de vue des politiques publiques, cette source d'eau est plus intéressante, car aucun montant n'est facturé pour le service rendu. Par contre, l'eau fournie par les municipalités est vendue à un prix donné par mètre cube dont il est déjà tenu compte dans les dépenses intermédiaires de notre base de données.

2. Pour calculer le prix fictif de l'eau, Renzetti (1992) et Renzetti et Dupont (1995) considèrent uniquement les dépenses occasionnées par les activités liées au prélèvement, comme le dégrillage et le traitement, qui sont des dépenses opérationnelles et de maintenance à l'usine. Par conséquent, ils supposent que la technologie sous-jacente à la consommation d'eau est indépendante de celle qui sous-tend la production. Comme cela deviendra évident plus loin, notre cadre de travail empirique n'impose pas cette hypothèse. Un traitement plus adéquat est fourni dans Renzetti et Dupont (2002).

Troisièmement, nous utilisons un cadre de travail unifié pour estimer le prix fictif privé du prélèvement d'eau et ses liens à la demande d'intrants fabriqués et aux produits. L'estimation du prix fictif dépend à la fois des possibilités de substitution des technologies et du comportement de la demande d'intrants et de l'offre de produits qui sous-tendent les procédés de production de la branche d'activité. Nous examinons aussi comment l'introduction de la recirculation de l'eau, c'est-à-dire une forme de recyclage, dans ce cadre d'analyse influence le prix fictif de l'eau.

Quatrièmement, en plus d'estimer les élasticités de substitution entre l'eau et les intrants fabriqués, ainsi que les économies d'échelle, nous calculons une mesure de la croissance de la productivité multifactorielle qui tient compte du prélèvement d'eau. La mesure du prix fictif de l'eau et de son effet sur la performance économique des entreprises laisse entendre qu'il est grand temps d'examiner ces liens éventuels.

La présentation de l'article est la suivante. À la section II, nous donnons les spécifications et l'estimation de notre modèle économétrique, tandis qu'à la section III, nous discutons des données et fournissons des renseignements contextuels sur le prélèvement d'eau par les entreprises canadiennes. À la section IV, nous présentons les résultats empiriques et évaluons leur robustesse à l'introduction de la recirculation de l'eau, une sorte de recyclage, dans le cadre d'analyse. Enfin, à la section V nous présentons nos conclusions.

II. Cadre analytique

Les branches d'activité autoapprovisionnées utilisent l'eau comme un intrant naturel gratuit dans leur procédé de production (voir Pearse et coll., 1985). Pour refléter la disposition des branches d'activité à payer pour l'eau qu'elles consomment, il est intéressant de commencer par caractériser la structure de coût des diverses branches d'activité, c'est-à-dire une représentation de la façon dont les intrants fabriqués et le prélèvement d'eau sans prix établi sont utilisés dans le procédé de production.

Nous considérons une fonction de coût restreinte (ou de court terme) dans laquelle nous traitons l'autoapprovisionnement en eau comme un intrant quasi fixe. La motivation de cette caractérisation de la technologie est l'existence de contraintes réglementaires qui limitent la capacité qu'ont les entreprises de modifier les quantités d'eau qu'elles prélèvent. La fonction de coût de court terme prend la forme générale $G(Y,w,W,D,t)$, où Y est le bien produit[3], w est le vecteur des prix nominaux des intrants conventionnels (travail, L; capital, K; ;intrants intermédiaires, U), W est la quantité d'eau prélevée, D est un vecteur de variables binaires correspondant aux effets fixes pour chaque branche d'activité et t est une tendance temporelle. La fonction de coût total mesure les dépenses engagées par une branche d'activité au titre de tous les intrants coûteux, c'est-à-dire le travail, le capital et les intrants intermédiaires. Elle n'inclut pas le coût de la pollution de l'eau associé avec le déversement de déchets car cette information n'est pas disponible. Dans ce cadre de travail, nous supposons que les entreprises choisissent leurs intrants de façon à minimiser la fonction de coût de court terme. Ce choix est conditionné

3. L'étude n'a pas considéré l'émission de pollution associées avec l'usage de l'eau en raisin de l'absence de données appropriées.

par le niveau de production et le volume d'eau utilisé qui ne peuvent être modifiés dans le court terme[4]. Une autre motivation de ce genre de spécification de la technologie est la suivante : la variable W est incluse dans la fonction de coût pour refléter le fait que les intrants conventionnels et un intrant naturel sont utilisés pour produire le bien Y, ou, inversement, que les producteurs utilisent l'« environnement » comme un intrant gratuit lorsqu'ils prélèvent de l'eau. Cependant, si les producteurs privés devaient payer un prix comme ils le font pour les intrants commercialisés, ils utiliseraient probablement plus parcimonieusement l'eau, en la remplaçant par des intrants achetés.

Notre approche est axée sur les coûts privés de production. La valeur fictive privée associée z du prélèvement d'eau, c'est-à-dire l'économie réalisée grâce à l'utilisation de l'eau comme un intrant gratuit, pourrait être mesurée en tant qu'effet sur les coûts $-\frac{\partial G}{\partial W} = z$. Cette valeur fictive reflète le montant marginal que le producteur serait prêt à payer pour avoir le droit d'augmenter W. Inversement, z représente l'augmentation marginale du coût des intrants qui aurait lieu si l'on imposait une réduction de W. Donc, nous anticipons que $z > 0$.

L'application du lemme de Shepard à $G(Y,v,W,D,t)$ génère les équations de demande d'intrant connexes et les parts du coût attribuables aux intrants s_j (j = capital (K), travail (L) et intrants intermédiaires (U)). Le cadre analytique nous permet d'obtenir des éclaircissements sur diverses élasticités de coût qui reflètent l'existence d'économies d'échelle dans le secteur canadien des entreprises et la mesure dans laquelle la consommation d'eau influe sur les intrants conventionnels.

Nous définissons les économies d'échelle SE, c'est-à-dire une mesure de l'élasticité du coût des biens produits comme étant

$$SE = \left(\frac{\partial \ell nG}{\partial \ell nY} \right)^{-1} \equiv \varepsilon_{G,Y}^{-1}. \tag{1}$$

Si SE est égal à (plus grand que) (plus petit que) 1, la technologie utilisée est caractérisée par un rendement d'échelle constant (croissant) (décroissant).

L'élasticité estimée de substitution entre le prélèvement d'eau W et l'intrant fabriqué $j = K,L,U$ est donnée par

$$\varepsilon_{W,j} = \frac{\partial \ell nG}{\partial \ell nW} + \frac{\left(\frac{\partial^2 \ell nG}{\partial \ell nW \partial \ell nw_j} \right)}{\left(\frac{\partial \ell nG}{\partial \ell nw_j} \right)}. \tag{2}$$

4. L'autoapprovisionnement en eau nécessite un permis délivré par une administration provinciale qui, une fois émis, ne peut être transféré à d'autres utilisateurs. En outre, ce permis précise la quantité maximale annuelle d'eau qui peut être prélevée, ce qui établit une borne supérieure du prélèvement d'eau par l'entreprise.

L'élasticité croisée de la demande susmentionnée, fondée sur l'élasticité partielle de substitution d'Allen, est calculée en supposant que la production est fixe, mais que tous les autres intrants peuvent varier. Si $\varepsilon_{W,j}$ est positive (négative), l'eau est un substitut (complément) de l'intrant j.

Penchons-nous maintenant sur le cadre de productivité. Habituellement, l'approche paramétrique de la mesure de productivité consiste à faire la distinction entre tout mouvement le long de la fonction de coût dû aux économies d'échelle globales et le déplacement de la fonction de coût dû au progrès technique. En plus de ces composantes, notre cadre analytique permet de tenir compte du prélèvement d'eau qui reflète le déplacement de la fonction de coût résultant d'une utilisation efficace (inefficace) de l'eau par les entreprises. Formellement, nous définissions la variation de la productivité multifactorielle comme étant

$$\dot{PMF} = \dot{Q} - \sum_j s_j \dot{x}_j, \tag{3}$$

où Q et x_j sont, respectivement, le bien produit et l'intrant j en prix constants.

La dérivation totale de $G = \sum_j w_j x_j$ par rapport au temps et la substitution de l'expression $\sum_j s_j \dot{x}_j$ dans (3) nous donne :

$$\dot{PMF} = \left(1 - \varepsilon_{G,Y}\right)\dot{Y} - \dot{G} - \varepsilon_{G,W}\dot{W}. \tag{4}$$

où $\varepsilon_{G,W}$ et $\varepsilon_{G,W}$ sont, respectivement, les élasticités de G par rapport au bien produit et au prélèvement d'eau.

L'équation (4) ventile la croissance de la productivité multifactorielle en deux composantes élémentaires, à savoir, d'une part, la croissance paramétrique conventionnelle de la productivité $\left(1 - \varepsilon_{G,Y}\right)\dot{Y} - \dot{G}$, c'est-à-dire un déplacement de la fonction de coût dû au progrès technique $\left(-\dot{G}\right)$ et un mouvement le long de la fonction de coût dû aux économies d'échelle $\left(1 - \varepsilon_{G,Y}\right)\dot{Y}$ et, d'autre part, l'effet du prélèvement d'eau $\dot{W}$ et de son prix fictif reflété par $-\varepsilon_{G,W}$.

III. Application économétrique

1. Spécifications

L'élément de base de notre modèle est une fonction de coût translogarithmique à rendement d'échelle non constant normalisée en fonction du prix des intrants intermédiaires. Nous supposons que la technologie de la branche d'activité est représentée par une fonction de coût translogarithmique de la forme suivante :

$$
\begin{aligned}
\ell nG_{it} = {} & \alpha_i + \alpha_Y \ell nY_{it} + \frac{1}{2}\alpha_{YY}\left(\ell nY_{it}\right)^2 + \alpha_W \ell nW_{it} + \frac{1}{2}\alpha_{WW}\left(\ell nW_{it}\right)^2 \\
& + \sum_{s=K,L,U} \alpha_{Ys} \ell nY_{it} \ell n(w_{ist}) + \sum_{s=K,L,U} \alpha_{Ws} \ell nW_{it} \ell n(w_{ist}) + \alpha_{YW} \ell nY_{it} \ell nW_{it} \\
& + \sum_{s=K,L,U} \alpha_j \ell n(w_{ist}) + \frac{1}{2} \sum_{s=K,L,U} \sum_{s'=K,L,U} \alpha_{ss'} \ell n(w_{ist}) \ell n(w_{is't}) \\
& + \alpha_t t + \alpha_{tt} t^2 + \sum_{s=K,L,U} \alpha_{ts} \ell n(w_{ist}) t,
\end{aligned}
\tag{5}
$$

et les équations des parts du coût qui en découlent sont de la forme

$$
s_{ist} = \alpha_i + \alpha_{Ys} \ell nY_{it} + \alpha_{ws} \ell nW_{it} + \sum_{s=K,L,U} \alpha_{ss'} \ell n(w_{ist}) + \alpha_{st} t, \; s = K,L,U. \tag{6}
$$

L'indice s dénote les variables d'intrant K,L,U — capital, travail et intrant intermédiaire — tandis que l'indice i dénote la branche d'activité et α_i est un effet fixe de branche d'activité. Dans ce cadre analytique, nous supposons que l'utilisation du travail, exprimée en nombre d'heures travaillées, est corrigée de façon optimale dans l'espace d'un an. Nous faisons une hypothèse comparable pour les intrants intermédiaires et les services de capital.

En partant des équations (2) et (5), nous obtenons, pour les élasticités de substitution entre l'eau et d'autres types d'intrant, les spécifications suivantes

$$
\varepsilon_{W,s} = \alpha_W + \alpha_{WW} \ell nW_{st} + \alpha_K \ell nw_K + \alpha_L \ell nw_L + \alpha_U \ell nw_U, \; pour \; s = K,L,U.
$$

Le modèle d'estimation correspond à l'équation (5), à partir de laquelle nous construisons les prix fictifs des prélèvements d'eau et une gamme de mesures de la structure de la technologie, ainsi que les équations des parts du coût pour les utilisations normalisées du capital, du travail et des intrants intermédiaires. Nous obtenons l'équation de la part des intrants intermédiaires par différence, étant donné que la somme des parts variables du coût doit être égale à l'unité.

Nous avons regroupé des données chronologiques et des données transversales pour 36 branches d'activité canadiennes à deux chiffres pour les années de référence 1981, 1986, 1991 et 1996 en vue d'estimer le modèle. L'estimation de ce dernier sous forme de système regroupé lui donne non seulement plus de structure (degrés de liberté supplémentaires), mais impose aussi des contraintes entre équations afin d'obtenir un modèle de structure de coût et de demande d'intrants entièrement intégré, ce qui produit des estimations plus efficaces. Nous avons utilisé les techniques de régressions apparemment non liées pour l'estimation, puisque les équations ont des paramètres en commun. Ces techniques assurent aussi que les estimations ne soient pas sensibles au choix du numéraire (ici un indice des prix des intrants intermédiaires de Fisher) puisqu'elles produisent des estimations du maximum de vraisemblance.

2. Description des données

2.1. Sources des données

L'ensemble de données est fondé sur une version étendue de la base de données KLEMS consultable par le public et créée par Statistique Canada à titre expérimental pour appuyer les

projets de recherche sur la productivité et les questions environnementales[5]. La base de données environnementales KLEMS (E-KLEMS) repose sur deux sources distinctes, sous-tendues par les tableaux d'entrées-sorties, ce qui facilite leur intégration.

Premièrement, les données sur la valeur de la production brute, les coûts du travail, des services du capital et des intrants intermédiaires, ainsi que les indices des prix en chaîne de Fisher proviennent des comptes de la productivité du Canada. Ces comptes contiennent un ensemble de données cohérentes sur les coûts des intrants, les indices de volume en chaîne de Fisher des produits et des intrants (données KLEMS) et les mesures de productivité pour un certain nombre de branches d'activité du secteur canadien des entreprises pour la période allant de 1981 à 1997.

Les données des enquêtes auprès des ménages sont utilisées pour désagréger le nombre total d'heures en nombre d'heures travaillées par diverses catégories de travailleurs classés en fonction de variables démographiques, comme l'âge et le niveau de scolarité. En partant de l'hypothèse que les travailleurs sont rémunérés proportionnellement à la valeur de leur produit marginal, on calcule la quantité de travail utilisé comme étant la somme pondérée du nombre d'heures travaillées par diverses catégories de travailleurs, en prenant pour coefficients de pondération les taux de rémunération relatifs.

La quantité de capital utilisé est calculée de façon similaire, en se fondant sur un concept de flux de services pour les actifs physiques. Le prix de location du capital utilisé pour produire le flux de services de 28 classes d'actifs est établi d'après un taux externe de rendement (le taux des bons du Trésor à terme de trois mois), les gains en capital, le taux de dépréciation et des paramètres fiscaux, tels que l'impôt sur les sociétés et les crédits d'impôt pour investissement. L'estimation des services du capital consiste en une agrégation du stock de capital sur l'ensemble des actifs, en appliquant à chaque classe d'actif un poids correspondant à la valeur moyenne sur deux ans de la part du revenu de propriété qu'on estime imputable à cette classe d'actif dans chaque branche d'activité. Pour chaque branche d'activité, le revenu de propriété est réparti entre les classes d'actif d'après le prix de location estimé de chaque classe d'actif.

Sur les 47 branches d'activité à deux chiffres qui constitue le secteur des entreprises, nous n'avons retenu que les 37 pour lesquelles la mesure de la production convient à la mesure de la productivité[6].

Deuxièmement, nous avons tiré des comptes de l'environnement de Statistique Canada (voir Statistique Canada 1997a, b) des données pour les années de référence 1981, 1986, 1991 et 1996 sur le prélèvement, l'utilisation, la recirculation et l'évacuation de l'eau selon la branche d'activité à un niveau désagrégé. Ces données, qui couvrent les établissements alimentés par les services publics et ceux qui s'autoapprovisionnent en eau du secteur canadien des entreprises, sont fondées sur une série d'enquêtes collectives d'Environnement Canada et de Statistique Canada sur la consommation industrielle d'eau au Canada.

---

5. KLEMS est l'acronyme pour capital (K), travail (L), énergie (E), matières premières (M) et services (S).
6. Les intermédiaires financiers, les services immobiliers et de l'assurance, les services de divertissement et de loisirs, les services d'hébergement et de restauration, les services de santé et les services sociaux, les services aux entreprises, les services personnels et domestiques et les services d'enseignement ont été exclus.

Les établissements alimentés par les services publics reçoivent leur eau d'un service de distribution d'eau, tandis que les établissements qui s'autoapprovisionnent puisent directement dans des masses d'eau naturelles (ruisseaux, lacs ou nappes souterraines). Les dépenses associées au prélèvement d'eau varient selon que l'entreprise est alimentée par les services publics ou qu'elle s'autoapprovisionne. Si elle est raccordée à une entreprise de services publics, elle doit payer à cette dernière des frais annuels de raccordement et le tarif unitaire qui est appliqué pour le prélèvement d'eau, c'est-à-dire des dépenses incluses ici dans les intrants intermédiaires.

Une entreprise autoapprovisionnée n'encourt aucun coût externe pour l'eau qu'elle utilise, à moins qu'elle soit située en Colombie-Britannique, en Saskatchewan ou en Nouvelle-Écosse, qui sont les seules provinces du Canada qui font payer des redevances pour le prélèvement direct d'eau (voir Tate et Scharf, 1991). En général, les redevances pour les ressources naturelles sont traitées dans le Système de comptabilité nationale du Canada (SCNC) comme un paiement pour l'utilisation des services d'un intrant primaire naturel et, par conséquent, font partie de la rémunération du capital[7]. Toutefois, dans le cas des redevances pour l'eau, aucune information ne figure à l'heure actuelle dans le SCNC.

Toutes les entreprises qui prélèvent de l'eau engagent aussi des dépenses associées à l'utilisation interne de l'eau. Il s'agit notamment du coût du traitement de l'eau avant son utilisation (p. ex., l'élimination des minéraux qui est nécessaire si l'eau doit être utilisée pour produire de la vapeur sous haute pression) et avant son évacuation. Dans notre base de données, ces dépenses sont considérées comme des dépenses intermédiaires associées à l'utilisation de l'eau. Comme l'eau est utilisée en même temps que le travail, le capital et d'autres catégories d'intrants intermédiaires, ces dépenses ne peuvent être considérées comme le seul élément sur lequel fonder l'estimation du prix fictif de l'eau (à moins qu'on émette l'hypothèse de technologies séparables, ce qui, pourrait-on soutenir, est une hypothèse restrictive).

Nous avons ajouté des données sur le prélèvement de l'eau à partir de sources d'autoapprovisionnement à celles sur la production et les intrants pour les 37 branches d'activité pour lesquelles il existe une mesure de la production fiable pour l'analyse de la productivité. Parmi ces branches d'activité, nous avons exclu celle de la pêche et du piégeage qui ne semble pas consommer d'eau. Le tableau 1 donne la liste des 36 branches d'activité, ainsi que leurs statistiques descriptives.

2.2. Analyse des données

La base E-KLEMS utilisée est un panel de données de 144 observations sur les prix et les volumes des intrants et des produits, et sur le prélèvement d'eau en tant qu'intrant naturel pour lequel il n'y a aucun prix pour les 36 branches d'activité pour les années de référence 1981, 1986, 1991 et 1996.

Le tableau 1 donne les niveaux moyens de coût total et les taux annuels moyens de croissance de la production réelle, du prélèvement d'eau et des prix réels des intrants conventionnels, ainsi que les parts du coût pour la période allant de 1981 à 1996.

---

7. Il en est ainsi des redevances pour le pétrole et le gaz, par exemple. Voir Diaz et Harchaoui (1997).

Tableau 1. Statistiques sommaires, 1981 à 1996

Industries	G ($ millions)	s_K	s_L	s_U	$\dot{\omega}_K$	$\dot{\omega}_L$	$\dot{\omega}_U$	$\dot{K}$	$\dot{L}$	$\dot{U}$	$\dot{Y}$	$\dot{W}$
					pourcentage							
Agricoles et de services connexes	29,32	0,24	0,21	0,55	-4,21	2,22	1,48	-1,93	0,71	1,57	2,32	2,66
Exploitation forestières et services forestiers	8,07	0,12	0,33	0,55	1,53	-0,10	-0,50	-1,99	0,31	4,16	2,87	1,88
Mines	11,73	0,34	0,26	0,40	1,40	2,78	1,93	-0,35	-1,39	0,25	1,40	0,58
Pétrole brut et du gaz naturel	21,58	0,66	0,09	0,25	6,05	4,91	8,46	2,82	2,51	3,10	3,88	-1,43
Carrières et sablières	1,05	0,27	0,28	0,45	0,92	1,76	-1,23	0,67	0,60	2,08	2,12	1,34
Services relies à l'extraction des minéraux	4,49	0,18	0,35	0,47	1,55	0,82	-1,00	1,42	2,49	1,22	0,90	-0,76
Aliments	38,81	0,12	0,15	0,74	1,91	0,82	-0,52	0,89	0,53	1,46	1,15	0,44
Boissons	5,70	0,26	0,20	0,54	3,13	0,77	-1,12	-1,47	-1,48	1,11	0,41	-1,98
Tabac	1,99	0,28	0,15	0,57	7,19	0,61	-4,68	-2,47	-4,18	-0,28	-1,64	-4,43
Produits en caoutchouc	3,11	0,08	0,32	0,60	2,75	2,38	3,20	1,39	-0,03	2,77	3,63	-5,96
Produits en matière plastique	5,57	0,14	0,24	0,62	2,71	1,05	1,84	5,10	4,43	5,77	5,26	-3,31
Cuir et des produits connexes	1,15	0,09	0,32	0,59	3,19	0,34	-9,75	-2,13	-4,81	-4,91	-4,81	-5,77
Textiles de première transformation	3,04	0,16	0,23	0,61	2,46	2,31	4,82	-0,55	-2,09	0,10	0,35	-1,77
Produits textiles	2,90	0,11	0,26	0,63	2,87	1,13	0,00	-0,19	-0,36	0,79	0,27	2,44
Habillement	6,03	0,12	0,31	0,57	2,53	0,80	-1,27	0,40	-1,71	-0,14	-0,25	-2,45
Bois	14,82	0,08	0,26	0,65	2,11	-2,31	1,77	1,70	1,51	3,57	1,56	-6,48
Meuble et articles d'ameublements	4,10	0,11	0,32	0,57	4,58	0,07	-1,81	0,99	0,96	1,89	1,74	-0,32
Papier et produits connexes	22,56	0,14	0,22	0,64	2,22	1,26	-0,15	1,13	-0,50	2,11	1,84	-1,56
Édition et industries connexes	11,66	0,17	0,36	0,47	3,95	-1,17	-1,72	2,37	1,86	1,93	0,64	0,90
Première transformation des métaux	23,19	0,07	0,21	0,72	0,84	2,94	0,14	-0,66	-1,87	1,89	2,07	-2,46
Fabrication des produits métalliques	17,02	0,12	0,29	0,59	2,83	0,62	-1,41	0,45	1,00	0,93	0,95	-1,59
Machinerie (sauf électrique)	10,45	0,14	0,29	0,57	4,53	0,40	0,75	0,84	0,73	2,03	1,60	-0,21
Matériel de transport	53,36	0,08	0,18	0,74	4,05	1,51	4,27	3,71	1,98	6,24	6,01	-3,34
Produits électriques et électroniques	19,30	0,13	0,25	0,62	2,11	4,35	2,02	3,48	-0,45	7,33	6,94	-1,93
Produits minéraux non métalliques	6,57	0,16	0,27	0,57	3,17	0,19	-6,97	-2,27	-0,60	0,45	0,13	1,20
Produits raffinés du pétrole et du charbon	20,05	0,05	0,04	0,90	4,58	4,75	-0,49	-1,14	-3,32	0,48	-0,04	-2,74
Chimiques	22,01	0,19	0,16	0,64	2,84	1,10	0,66	0,35	0,84	1,97	2,20	-6,40
Autres fabrication	6,94	0,13	0,28	0,59	3,42	0,75	-1,64	2,81	1,10	1,54	1,32	-0,15
Construction	80,74	0,08	0,33	0,58	3,20	-0,30	-1,26	1,17	0,76	-0,01	0,08	0,12
Transports	38,74	0,14	0,36	0,50	0,28	0,43	3,14	1,84	1,64	2,26	2,73	1,18
Transports par pipeline	3,19	0,68	0,12	0,20	1,52	3,99	2,11	3,01	1,89	2,99	5,64	0,46
Stockage et entreposage	1,23	0,22	0,46	0,32	2,80	0,50	-0,47	1,53	1,79	1,62	1,61	0,90
Communications	22,49	0,35	0,38	0,27	0,57	0,81	5,74	4,72	2,23	5,49	4,95	1,21
Autres services d'utilité publique	22,97	0,60	0,20	0,20	-0,75	-0,83	-3,56	1,97	2,60	5,37	2,69	3,09
Commerce de gros	42,71	0,19	0,48	0,34	5,99	1,61	0,59	2,99	2,53	4,54	4,89	1,24
Commerce de détail	48,36	0,13	0,54	0,33	4,78	0,16	-0,44	3,67	1,84	2,76	2,61	1,30
Toutes les industries	637,02	0,20	0,27	0,53	2,44	0,79	0,70	1,78	1,19	2,51	2,49	1,70
Les sept plus grosses consommatrices	196,347	0,23	0,19	0,58	0,02	1,52	-0,13	0,50	0,12	0,02	1,68	1,78

Nota : s_j = intrant j part du coût total $(j = K, L, U)$. Aux fins d'illustration, nous supposons que la somme des parts est égale à l'unité; le symbole « . » représente le taux de croissance moyen de la variable sur la période allant de 1981 à 1996; K = services du capital; L = services du travail; U = intrants intermédiaires; Y = production brute; W = prélèvement d'eau.

[a] Agriculture, mine, papier, première transformation des métaux, produits raffinés du pétrole et du charbon, chimiques et utilité publique.

La valeur moyenne totale de la production brute de ces 36 branches d'activité entre 1981 et 1996 est de 637 milliards de dollars, et les écarts entre les chiffres par branche d'activité sont importants. Les branches de la construction, du matériel de transport et du commerce, qui représentent plus du tiers de la production nominale, comptent parmi les plus importantes des 36 branches d'activité retenues pour l'étude. D'autres, comme celles du tabac et du cuir et des produits connexes, sont assez petites.

Au niveau agrégé, les intrants intermédiaires représentent plus de la moitié du coût total, tandis que les parts du travail et du capital sont, en moyenne, de 27 % et 20 %, respectivement. Les parts du coût des intrants varient considérablement parmi les 36 branches d'activité. Par exemple, la part de la rémunération du travail varie d'un creux d'environ 4 % pour la branche des produits raffinés du pétrole à un sommet de 54 % pour celle du commerce de détail. La part du coût du capital varie aussi considérablement selon la branche d'activité, allant de 5 % pour les produits raffinés du pétrole à 68 % pour le transport par pipelines et à 66 % pour le pétrole brut et le gaz naturel. En général, la part du coût du capital, est, à quelques exceptions près (principalement les branches du pétrole brut et du gaz naturel, du transport par pipelines et des autres services publics) plus faible que celle de la rémunération du travail. Les intrants intermédiaires, par ailleurs, représentent la part la plus importante du coût total dans presque toutes les branches d'activité, part qui varie de 20 % pour les services publics à 90 % pour les produits raffinés du pétrole et du charbon.

De 1981 à 1996, la croissance de la production agrégée a été de 2,49 %. Ce taux est plus élevé que ceux de 1,78 % et 1,19 % observés pour le capital et le travail, respectivement, mais légèrement inférieur à celui de 2,51 % enregistré pour les intrants intermédiaires. La combinaison des données sur les parts du coût et sur la croissance de ces intrants produit un taux combiné de croissance des intrants de 2 % qui, comparé à la croissance de la production de 2,49 %, donne une augmentation moyenne de la productivité multifactorielle de 0,49 % (sous l'hypothèse de rendements d'échelle constants).

Les taux de croissance de la production et des intrants présentés au tableau 1 varient aussi selon la branche d'activité durant la période visée. La croissance de la production des branches du cuir et des produits connexes et des produits du tabac a été négative. Pour d'autres branches d'activité, comme celles des textiles et des boissons, elle a été médiocre. Un certain nombre de branches d'activité, comme celles des produits en matière plastique, du matériel de transport, des produits électriques et électroniques et des communications, ont connu un taux de croissance de la production supérieur à 3 %. Ces branches d'activité à croissance rapide ont également fait état d'une croissance rapide des intrants capital et travail; pour les branches d'activité ayant une croissance modeste, c'est l'inverse qu'on observe.

Le comportement de la croissance de la production et des intrants selon la branche d'activité donne à penser que le changement de composition des intrants et la variation des taux de croissance de la production et de la productivité n'ont pas été les mêmes pour toutes les branches d'activité. De façon comparable, on observe des taux de croissance négatifs, faible ou rapide pour le travail, le capital et les intrants intermédiaires. À quelques exceptions près, le taux de croissance des prix des intrants est généralement positif, mais varie considérablement d'une branche d'activité à l'autre.

Les entreprises canadiennes utilisent de l'eau pour diverses raisons, dont le refroidissement et le transport des intrants intermédiaires, la production de vapeur, la production d'électricité, la désinfection et, enfin, pour l'inclusion dans les produits fabriqués (p. ex., production de bière). Le prélèvement d'eau par le secteur des entreprises a atteint 40,9 milliards de mètres cubes en 1996, en hausse par rapport aux 32,5 milliards enregistrés en 1981. Cette croissance annuelle moyenne de 1,53 % du prélèvement d'eau, comparativement à la croissance annuelle moyenne de 2,49 % de la production, donne lieu à une augmentation favorable de la croissance de l'éco-efficacité — définie comme la croissance de la production par unité d'intrant naturel, qui s'établit à 0,96 % par année.

La répartition du prélèvement d'eau entre les branches du secteur des entreprises est assez inégale. Sept branches d'activité représentent 96 %, en moyenne, du prélèvement global d'eau par autoapprovisionnement de 1981 à 1996. Ces branches sont celles des services publics (65,9 %), de l'agriculture (10,1 %), du papier (7,1 %), de la première transformation des métaux (4,7 %), des produits chimiques (4,5 %), des mines (1,5 %) et des produits raffinés du pétrole (1,2 %).

Ces sept branches d'activité consommatrices d'eau les plus importantes, qui représentent 23,8 % de la production brute des branches du secteur des entreprises retenues pour la présente étude, possèdent certaines caractéristiques qui les distinguent des autres branches d'activité. Avec un taux moyen de -0,05 %, ces branches d'activité à forte consommation d'eau affichent un ralentissement modéré de la croissance de l'éco-efficacité (croissance du prélèvement d'eau de 1,78 % comparativement à une croissance de la production réelle de 1,68 %) par rapport au taux de 0,79 % pour le secteur des entreprises (croissance du prélèvement d'eau de 1,70 % comparativement à une croissance de la production réelle de 2,49 %).

Ces sept branches d'activité s'appuient aussi davantage sur les intrants intermédiaires (58 % de la production brute comparativement à 53 % pour le secteur des entreprises dans son ensemble) et sur le capital (23 % vs 20 %), mais moins sur le travail (19 % vs 27 %). Cette situation résulte d'une augmentation plus favorable des prix relatifs des intrants intermédiaires et du capital pour ces branches d'activité que pour le secteur des entreprises dans son ensemble (0,02 % vs 2,44 %, -0,13 % vs 0,7 %, respectivement, pour le capital et les intrants intermédiaires). Ces branches d'activité ont affiché une croissance plus faible de la production (1,68 %) et des intrants (0,5 %, 0,12 % et 0,02 %, respectivement, pour le capital, le travail et les intrants intermédiaires) que le secteur des entreprises dans son ensemble, mais une croissance significativement plus élevée de la productivité multifactorielle, soit 1,5 %, en moyenne, de 1981 à 1996 (sous l'hypothèse de rendements d'échelle constants).

La croissance de l'éco-efficacité varie de l'une à l'autre de ces sept branches d'activité, la valeur la plus forte étant enregistrée pour la branche des produits chimiques (8,6 %). Viennent ensuite les branches de la première transformation des métaux (4,53 %), du papier et des produits connexes (3,4 %), résultats qui font penser à l'adoption d'une technologie permettant d'économiser l'eau qui favorise le recyclage de cette dernière[8]. Par contre, les branches des autres services publics et de l'agriculture, qui sont les consommatrices d'eau les plus importantes, ont enregistré une baisse d'éco-efficacité (-0,4 % et -0,34 %, respectivement).

8. D'autres renseignements sur le recyclage de l'eau figurent à la section IV.2.

IV. Résultats et conséquences

1. Estimation

Le système d'équations qu'il faut estimer comprend la fonction de coût (5) et les équations des parts pour $i = K, L$ et E donné par (6). L'équation de la part des intrants intermédiaires s'obtient par différence étant donné la contrainte voulant que la somme des parts des coûts soit égale à l'unité. Nous avons regroupé des séries chronologiques et des données transversales sur les 37 industries pour la période allant de 1981 à 1996 pour estimer le modèle. L'estimation de ce dernier sous forme d'un système regroupé augmente le nombre de degrés de liberté, mais impose aussi des contraintes entre équations en raison de paramètres communs. Ce problème peut être résolu en utilisant des techniques de régressions apparemment non liées; nous avons utilisé une version non linéaire de la procédure.

Nous utilisons aussi des variables instrumentales (VI) pour tenir compte de l'endogénéité éventuelle de la production ou des erreurs dans les variables. La technique des variables instrumentales s'appuie habituellement sur des variables exogènes retardées comme instrument. Nous avons corrigé pour les erreurs autorégressives de premier ordre (les tests de Durbin-Watson ont indiqué la présence d'erreurs autocorrélées dans les équations des coûts et de la demande d'intrants) en utilisant les valeurs retardées des variables exogènes. Par conséquent, la correction pour l'autocorrélation des résidus peut être interprétée comme résultant de l'utilisation de la technique des variables instrumentales. Plus précisément, l'intégration de la variable dépendante décalée dans l'équation de coût donne la forme $\ell n\left(\frac{G_h}{w_{sh}}\right)_t = \beta_{oh}(D_h) + \beta Z_t + \rho \ell n\left(\frac{G_h}{w_{sh}}\right)_{t-1} + u_t$ qui, à son tour, implique, après les substitutions appropriées, la forme $\ell n\left(\frac{G_h}{w_{sh}}\right)_t = \beta_{oh}(D_h)(1+\rho) + \beta(Z_t + \rho Z_{t-1}) + (u_t + \rho u_t)$ où Z_t représente le vecteur des variables du deuxième membre de (5), β représente le vecteur correspondant de paramètres et ρ est le coefficient d'autocorrélation. Une formule semblable s'applique aux équations des parts (6). Nos résultats, qui peuvent être obtenus sur demande, s'appuient aussi sur l'utilisation d'une matrice de covariance de White pour générer les erreurs-types.

2. Conséquences du prélèvement d'eau pour les structures de production

Les différences importantes entre branches d'activité en ce qui concerne la croissance de la production, les intrants et la structure des coûts entre 1981 et 1996 offrent un riche ensemble de données pour tester économétriquement l'effet de l'utilisation de l'eau en tant qu'intrant gratuit sur la croissance de la productivité et les indicateurs connexes de rendement de ces branches d'activité. Par conséquent, nous nous attendons à ce que les résultats (élasticités, prix fictif de l'eau et taux de croissance de la productivité multifactorielle) calculés en utilisant les estimations des paramètres de notre modèle économétrique varient considérablement d'une branche d'activité à l'autre. Ces variations entre branches d'activité motivent l'utilisation d'une spécification du modèle qui reflète les particularités des branches d'activité.

Le tableau 2 donne les valeurs de l'élasticité des coûts et du prix fictif pour le prélèvement d'eau. Les deux dernières lignes donnent une moyenne pondérée pour l'ensemble du secteur des entreprises et pour les sept branches d'activité consommatrices d'eau les plus importantes pour la période allant de 1981 à 1996. L'élasticité des coûts pour le secteur des entreprises dans son ensemble est de 0,76, valeur qui témoigne de l'existence d'économies d'échelle. Toutefois, l'élasticité varie fortement selon la branche d'activité, allant de 1,52 pour celle du tabac à 0,58 pour celle des produits raffinés du pétrole. La branche du tabac est la seule qui présente un rendement d'échelle décroissant (0,66), toutes les autres ayant affiché des rendements d'échelle croissants raisonnables et statistiquement significatifs. Les sept branches d'activité susmentionnées ne font pas exception. Leur élasticité moyenne des coûts est légèrement inférieure à la moyenne observée pour le secteur des entreprises (0,76), quoique la fourchette soit nettement plus étroite (de 0,84 pour la branche des produits chimiques à 0,58 pour celle des produits raffinés du pétrole).

Le tableau 2 présente aussi les estimations du progrès technique, de l'élasticité de substitution et du prix fictif par branche d'activité. Les chiffres témoignent d'un progrès technique moyen mais statistiquement significatif de 5 % pour le secteur des entreprises dans son ensemble, avec de fortes variations selon la branche d'activité. Les branches d'activité qui fabriquent des produits de haute technologie, comme celles des produits électriques et électroniques et des télécommunications, ont enregistré les variations les plus fortes, en moyenne, du progrès technique de 1981 à 1996 (8 % et 7 %, respectivement). D'autres, comme les branches du commerce de gros et du transport, ont connu un progrès technique aussi impressionnant que les branches de la haute technologie durant la période visée (7 %).

Des informations supplémentaires sur la structure de la technologie des industries peuvent être obtenues à partir des élasticités de substitution. Une élasticité croisée positive indique une substituabilité (l'inverse pour la complémentarité); par exemple, à mesure que le prix du capital (travail) diminue, l'utilisation du capital (travail) et celle de l'eau augmentent. Pour le secteur des entreprises, les élasticités entre le capital et l'eau et le travail et l'eau sont significativement positives (0,24 et 0,21, respectivement), reflétant le fait qu'une baisse dans le prélèvement de l'eau requière davantage de capital (travail). Dupont et Renzetti (1999) ont également observé la substituabilité du capital et de l'eau, mais les élasticités qu'ils ont calculées sont trois fois plus grandes que les nôtres, ce qui reflète des différences entre les méthodologies et les types de données utilisées.

Les estimations de l'élasticité de substitution varient fortement selon la branche d'activité. Pour la majorité des sept branches d'activité les plus grandes consommatrices d'eau, l'eau est un substitut de l'intrant travail ou capital. Les branches des services publics et des produits raffinés du pétrole et du charbon constituent, cependant, les deux exceptions où le travail et le capital sont, respectivement, compléments à l'eau. Parmi ces sept industries, la branche des services publics affiche les élasticités de substitution les plus élevées (en valeur absolue) (0,26 et -0,27, respectivement pour le capital et le travail), suivie par les branches de l'agriculture et des produits chimiques (0,17 et 0,18). Bien que les services publics, la plus grande branche consommatrice d'eau, affiche l'élasticité de substitution la plus élevée, les résultats ne révèlent pas un lien direct entre l'intensité de la consommation d'eau et le degré de substitution des intrants primaires à l'eau.

Tableau 2. Estimations moyennes des diverses élasticités et des prix fictifs, 1981 à 1996

Industries	$\varepsilon_{G,Y}$	ε_t	$\varepsilon_{W,K}$	$\varepsilon_{W,L}$	z (en $ par mètre cube)
Agricoles et de services connexes	0,76 (3,44)	-0,05 (4,67)	0,17 (4,81)	0,18 (5,67)	0,46 (1,75)
Exploitation forestière et services forestiers	0,87 (3,19)	-0,06 (4,84)	0,21 (8,13)	0,22 (9,00)	0,91 (2,16)
Mines	0,62 (3,12)	-0,05 (4,40)	0,11 (9,31)	0,12 (9,98)	0,35 (1,12)
Pétrole brut et du gaz naturel	0,86 (2,03)	-0,06 (5,45)	0,36 (3,24)	0,37 (3,73)	0,95 (3,56)
Carrières et sablières	0,73 (3,37)	-0,06 (4,89)	0,23 (9,52)	0,23 (2,19)	0,86 (2,28)
Services reliés à l'extraction des minéraux	0,58 (2,83)	-0,04 (3,33)	-0,16 (3,02)	-0,15 (2,32)	0,55 (1,55)
Aliments	0,70 (3,31)	-0,05 (4,14)	0,04 (3,58)	0,06 (4,96)	0,15 (0,48)
Boissons	0,52 (2,68)	-0,05 (3,78)	-0,04 (3,62)	-0,03 (2,76)	-0,20 (0,41)
Tabac	1,52 (2,26)	-0,03 (2,40)	-0,41 (2,39)	-0,39 (3,29)	0,93 (2,03)
Produits en caoutchouc	0,85 (2,17)	-0,06 (4,93)	0,23 (9,76)	0,24 (2,86)	1,29 (2,37)
Produits en matière plastique	0,91 (3,01)	-0,07 (6,24)	0,53 (4,36)	0,54 (4,32)	0,67 (5,30)
Cuir et des produits connexes	0,99 (1,98)	-0,02 (1,65)	-0,63 (4,38)	-0,61 (4,35)	0,92 (3,09)
Textiles de première transformation	0,62 (2,98)	-0,04 (3,50)	-0,12 (9,62)	-0,11 (8,69)	-0,34 (1,12)
Produits textiles	0,77 (3,36)	-0,05 (4,01)	0,01 (0,78)	0,02 (1,81)	0,04 (0,16)
Habillement	0,60 (2,97)	-0,04 (3,70)	-0,07 (5,50)	-0,06 (4,60)	-0,21 (0,60)
Bois	0,86 (1,94)	-0,05 (3,93)	-0,01 (0,91)	0,00 (0,27)	-0,02 (0,03)
Meuble et articles d'ameublements	0,66 (3,24)	-0,05 (4,34)	0,09 (7,82)	0,10 (8,73)	0,38 (0,98)
Papier et produits connexes	0,61 (3,09)	-0,05 (4,44)	0,12 (10,02)	0,13 (11,03)	0,49 (1,23)
Édition et industries connexes	0,72 (3,36)	-0,05 (4,28)	0,08 (6,59)	0,09 (7,29)	0,32 (0,82)
Première transformation des métaux	0,86 (2,97)	-0,05 (4,37)	0,09 (8,06)	0,11 (9,48)	0,39 (1,04)
Fabrication des produits métalliques	0,59 (3,00)	-0,05 (3,90)	-0,02 (1,46)	-0,01 (0,53)	-0,04 (0,12)
Machinerie (sauf électrique)	0,62 (3,03)	-0,04 (3,58)	-0,10 (7,99)	-0,09 (7,12)	-0,33 (0,92)
Matériel de transport	0,95 (1,87)	-0,07 (6,68)	0,62 (5,30)	0,63 (5,73)	0,84 (6,23)
Produits électriques et électroniques	0,95 (1,75)	-0,08 (7,01)	0,69 (3,51)	0,70 (4,48)	0,75 (6,92)
Produits minéraux non métalliques	0,76 (3,25)	-0,04 (3,63)	-0,08 (6,90)	-0,07 (6,05)	-0,22 (0,79)
Produits raffinés du pétrole et du charbon	0,58 (2,75)	-0,04 (3,13)	-0,22 (7,86)	0,17 (3,68)	0,48 (2,06)
Chimiques	0,84 (1,70)	-0,05 (4,64)	0,17 (4,31)	0,18 (5,41)	0,31 (1,70)
Autres fabrication	0,66 (3,24)	-0,05 (4,29)	0,08 (6,75)	0,09 (7,66)	0,30 (0,85)
Construction	0,68 (3,18)	-0,05 (3,74)	-0,06 (4,83)	-0,05 (3,76)	-0,16 (0,50)
Transports	0,68 (3,25)	-0,06 (4,84)	0,21 (8,34)	0,22 (9,12)	0,79 (2,18)
Transports par pipeline	0,87 (2,38)	-0,07 (6,22)	0,52 (4,23)	-0,54 (4,40)	0,52 (5,25)
Stockage et entreposage	0,70 (3,32)	-0,05 (4,25)	0,07 (6,09)	0,08 (6,63)	0,26 (0,75)
Communications	0,87 (2,67)	-0,07 (6,25)	0,53 (4,90)	0,54 (4,81)	0,48 (5,33)
Autres services d'utilité publique	0,81 (3,48)	-0,06 (5,05)	0,26 (2,01)	-0,27 (2,76)	0,95 (2,66)
Commerce de gros	0,87 (2,70)	-0,07 (6,13)	0,50 (4,23)	0,51 (4,81)	0,48 (5,07)
Commerce de détail	0,71 (3,33)	-0,06 (4,90)	0,23 (9,47)	0,23 (2,16)	0,88 (2,31)
Toutes les industries	0,76 (2,85)	-0,06 (4,81)	0,24 (4,98)	0,21 (4,96)	0,73 (2,19)
Les sept plus grosses consommatrices d'eau [a]	0,70 (2,96)	-0,05 (4,37)	0,17 (4,50)	0,06 (5,61)	0,76 (2,24)

Nota : [a] Agriculture, mine, papier, première transformation des métaux, produits raffinés du pétrole et du charbon, chimiques et utilité publique.

$\varepsilon_{G,Y}$ = échelle d'élasticités; ε_t = progrès technique; $\varepsilon_{W,K}$ = capital-eau élasticités de substitution;

$\varepsilon_{W,L}$ = travail-eau élasticités de substitution; z (en $ par mètre cube)= prix fictif pour le prélèvement d'eau. Les stastitiques t sont entre parenthèses.

Le prix fictif du prélèvement d'eau est significatif et s'établit à 0,73 $ par mètre cube pour l'ensemble du secteur des entreprises, valeur légèrement inférieure à celle enregistrée pour les sept branches d'activité susmentionnée (0,76 $ par mètre cube). Pour la moitié des 36 branches d'activité, le prix fictif est positif et statistiquement significatif, mais d'ordre de grandeur variable, ce qui reflète les différences entre les avantages marginaux tirés de l'utilisation de l'eau en tant qu'intrant gratuit. Bien que le prix fictif soit positif pour les sept branches d'activité grandes consommatrices d'eau, il n'est significatif que pour les services publics, l'agriculture, les produits chimiques et les produits raffinés du pétrole. Parmi ce groupe de branches d'activité, les services publics, qui sont les plus grands utilisateurs d'eau, affichent le prix fictif le plus élevé, à 0,95 $ par mètre cube, soit environ deux fois celui observé pour la branche de l'agriculture, qui se classe deuxième par ordre d'importance du prélèvement d'eau[9].

Avant de passer aux résultats concernant la productivité multifactorielle, il est utile de les comparer à ceux de Renzetti et Dupont (2002) qui ont publié des estimations des prix fictifs de l'eau prélevée calculés d'après des données regroupées provenant d'enquêtes transversales (1981, 1986 et 1991) sur la consommation d'eau au niveau de l'établissement selon l'industrie à deux chiffres du secteur canadien de la fabrication pour chaque province. Ces estimations sont obtenues au moyen de la fonction de coût restreinte pour le secteur canadien de la fabrication dans laquelle le capital, la main-d'œuvre, l'énergie, les matières premières, ainsi que la recirculation et le traitement de l'eau sont des intrants variables et la quantité d'eau prélevée est un intrant quasi fixe.

Leurs données proviennent de deux sources distinctes : premièrement, l'Enquête annuelle des manufacture (EAM) de Statistique Canada au niveau provincial pour les industries à quatre chiffres. Pour calculer les estimations du coût total de production selon l'industrie, les auteurs maintiennent l'égalité entre la production brute et le coût total des intrants (hypothèse d'un rendement d'échelle constant). Comme les données de l'EAM sont publiées uniquement aux prix courants, les auteurs utilisent divers indices de prix des produits et des intrants que nécessitent leur fonction de coût restreinte. Sous cette hypothèse de rendement d'échelle constant, il s'ensuit que le coût d'utilisation du capital employé pour mesurer le prix des services du capital est établi sous l'hypothèse d'un taux interne de rendement. Deuxièmement, les données sur la consommation d'eau proviennent de l'enquête sur la consommation industrielle d'eau d'Environnement Canada qui sont produites au niveau de l'établissement sur une base quinquennale. Ces données sont ensuite agrégées au niveau à deux chiffres de la classification des industries pour chaque province afin qu'elles concordent avec les données de l'EAM.

9. L'intervalle de confiance pour les estimations des prix fictifs de 0,73 $ par mètre cube pour toutes les industries et 0,95 $ par mètre cube pour les sept industries les consommatrices d'eau sont, respectivement, 0,55-0,84 et 0,89-1,08.

Tableau 3. Croissance de la productivité multifactorielle, 1981 à 1996 (taux annuels moyens de croissance)

Industries	Avec prélèvement d'eau	Sans prélèvement d'eau
Agricoles et de services connexes	3,0	1,8
Exploitation forestière et services forestiers	1,2	-1,0
Mines	3,6	3,3
Pétrole brut et du gaz naturel	4,3	4,5
Carrières et sablières	4,2	2,6
Services reliés à l'extraction des minéraux	1,9	1,4
Aliments	0,6	0,5
Boissons	-1,5	-1,8
Tabac	8,3	7,7
Produits en caoutchouc	5,2	9,8
Produits en matière plastique	3,7	6,1
Cuir et des produits connexes	-2,9	-4,0
Textiles de première transformation	-2,2	-3,0
Produits textiles	-3,9	-4,1
Habillement	-6,0	-6,5
Bois	-1,2	-1,2
Meuble et articles d'ameublements	5,0	5,1
Papier et produits connexes	7,0	7,8
Édition et industries connexes	-2,3	-2,7
Première transformation des métaux	0,0	1,0
Fabrication des produits métalliques	1,5	1,4
Machinerie (sauf électrique)	5,8	5,7
Matériel de transport	-0,1	2,7
Produits électriques et électroniques	1,9	3,9
Produits minéraux non métalliques	-4,2	-3,7
Produits raffinés du pétrole et du charbon	-4,1	-6,3
Chimiques	0,9	4,3
Autres fabrication	2,2	2,3
Construction	-4,1	-4,1
Transports	10,4	9,1
Transports par pipeline	10,2	9,8
Stockage et entreposage	3,1	2,8
Communications	7,2	6,0
Autres services d'utilité publique	3,3	-1,7
Commerce de gros	5,0	6,0
Commerce de détail	6,0	6,2
Toutes les industries	2,0	2,1
Les sept plus grosses consommatrices d'eau[a]	2,2	1,5

Nota : [a] Agriculture, mine, papier, première transformation des métaux, produits raffinés du pétrole et du charbon, chimiques et utilité publique.

Les différences associées à la période de référence, les branches d'activité couvertes, l'uniformité des sources de données, la méthodologie et les techniques d'estimation rendent impossible un rapprochement catégorique de nos résultats. Ainsi, nos données couvrent une part importante du secteur des entreprises considérée dans les comptes officiels de la productivité du Canada. Nous couvrons non seulement les industries à deux chiffres du secteur de la fabrication, mais aussi les industries de l'agriculture, des mines, des services publics et des services non financiers. L'agriculture et les services publics sont des branches d'activité dont il est particulièrement important de tenir compte dans toute étude de la consommation d'eau, puisqu'elles représentent les trois quarts du prélèvement global d'eau par autoapprovisionnement au cours de la période allant de 1981 à 1996. Nos données sont tirées de la base de données E-KLEMS, qui est une source intégrée et cohérente d'information, exprimée en prix courants et en prix constants, qui est mieux adaptée aux études sur l'effet de l'activité économique sur l'environnement au niveau national (voir la section III.2). Ainsi, le coût d'utilisation du capital que nous utilisons est établi par la méthode du taux externe de rendement, qui est la seule qui concorde avec l'hypothèse de rendement d'échelle non constant qui sous-tend notre fonction de coût[10]. Enfin, même si l'étude de Renzetti et Dupont (2002) et la nôtre s'appuient sur une procédure SUR de Zellner, notre technique d'estimation économétrique aux moyens de VI tient compte de tout problème que pourrait poser une corrélation fallacieuse et d'endogénéité.

Examinons maintenant les estimations de la croissance de la productivité multifactorielle présentée au tableau 3. Selon ce dernier, la productivité moyenne des 36 branches d'activité entre 1981 et 1996 est de 2,1 % si l'on ne tient pas compte de l'eau et de 2,0 % si l'on inclut l'eau dans l'ensemble d'intrants. Si nous limitons l'échantillon aux sept branches d'activité consommatrices d'eau les plus importantes, la croissance de la productivité passe de 1,5 % à 2,2 %, en moyenne, de 1981 à 1996. L'augmentation la plus importante a eu lieu pour la branche des services publics (-1,7 % à 3,3 %) qui est suivie par la branche de l'agriculture (de 1,8 % à 3 %).

3. Effet de la recirculation de l'eau sur les résultats

Le cadre d'analyse empirique utilisé jusqu'à présent n'a tenu compte que du prélèvement d'eau à partir de sources d'autoapprovisionnement. Bien que l'autoapprovisionnement constitue la source la plus importante de l'eau utilisée par le secteur canadien des entreprises, on a jusqu'à présent omis la question de la recirculation (recyclage) de l'eau. Pourtant, comme l'indique les données, celle-ci est un aspect important de l'utilisation de l'eau par le secteur canadien des entreprises. Des 40,9 millions de mètres cubes d'eau obtenus par autoapprovisionnement utilisés par ce secteur en 1996, 51 % ont été recyclés. Il s'agit là d'une augmentation importante par rapport à 1981, année où le rapport de recirculation était de 43,5 %. Même si ce rapport a baissé assez significativement en 1986 (37,6 %) et en 1991 (29,6 %), la recirculation demeure importante, puisqu'elle représente, en moyenne 40,2 % du prélèvement d'eau du secteur des

10. Autrement dit, la méthode de coût d'usage interne utilisée par Renzetti et Dupont (2002) n'est pas conforme à leur fonction de coût à rendement d'échelle non constant. Seule une fonction de coût à rendement d'échelle constant, c'est-à-dire (dans la notation utilisée par les auteurs à la page 10) $\frac{C}{Q_e} = C(P_i, Q_W, T, Z), i = K, L, E, M, R, T_r$, est conforme à la notion de taux interne de rendement (voir Harchaoui et Tarkhani 2002 pour plus de précisions).

entreprises de 1981 à 1996. Pareillement, à 37,4 % au cours de la même période, la recirculation était tout aussi importante pour les sept branches d'activité consommatrices d'eau principales.

Étant donné l'importance de la recirculation, il est essentiel de s'interroger, d'abord, sur la robustesse des résultats obtenus antérieurement à l'introduction de la recirculation de l'eau dans le cadre analytique et, ensuite, sur l'effet de la recirculation de l'eau sur les prix fictifs de l'utilisation de l'eau au Canada. Ces questions ont des conséquences importantes en ce qui a trait au cadre analytique utilisé ici. Considérons d'abord la question de savoir si la prise en compte de la recirculation de l'eau modifierait de façon significative les résultats obtenus antérieurement. Une telle modification donnerait à penser que le modèle est mal spécifié, puisqu'il serait sensible à toute nouvelle hypothèse concernant le comportement des branches d'activité en ce qui a trait à l'utilisation de l'eau, si bien que les estimations ne seraient pas fiables ou, au mieux, seraient entachées d'une incertitude importante. Ceci nous mène à la deuxième question, celle de savoir si la recirculation de l'eau a une incidence sur le prix fictif de l'utilisation de l'eau. Intuitivement, plus la quantité d'eau qu'elles recyclent est importante, moins les entreprises seront disposées à payer pour l'eau qu'elles utilisent. Par conséquent, la comptabilisation de la recirculation de l'eau devrait réduire le prix fictif de l'eau, toutes choses étant égales par ailleurs.

Nous avons modifié notre cadre empirique initial comme suit. Premièrement, nous avons remplacé le prélèvement d'eau par l'utilisation de l'eau, définie comme étant la somme du prélèvement d'eau et de la recirculation, dans l'estimation du système d'équations (5) et (6). Deuxièmement, nous avons annexé une variable binaire à la variable d'utilisation de l'eau dans l'équation (5) pour tenir compte du fait que la recirculation de l'eau implique différentes technologies selon la branche d'activité. Compte tenu de ces changements, la fonction de coût total (5) devient

$$\begin{aligned} \ell nG_{it} = {} & \alpha_i + \alpha_Y \ell nY_{it} + \frac{1}{2}\alpha_{YY}\left(\ell nY_{it}\right)^2 + \alpha_W^1 \ell nWU_{it} + \frac{1}{2}\alpha_{WW}^1\left(\ell nWU_{it}\right)^2 \\ & + \alpha_W^2 \ell nWU_{it} * D_{it} + \frac{1}{2}\alpha_{WW}^2\left(\ell nWU_{it} * D_{it}\right)^2 + \sum_{s=K,L,U} \alpha_{Ys} \ell nY_{it} \ell n(w_{ist}) \\ & + \sum_{s=K,L,U} \alpha_{Ws} \ell nWU_{it} \ell n(w_{ist}) + \alpha_{YW} \ell nY_{it} \ell nWU_{it} + \sum_{s=K,L,U} \alpha_j \ell n(w_{ijt}) \\ & + \frac{1}{2}\sum_{s=K,L,U}\sum_{s'=K,L,U} \alpha_{ss'} \ell n(w_{is't}) \ell n(w_{ist}) + \alpha_t t + \alpha_{tt} t^2 + \sum_{s=K,L,U} \alpha_{ts} \ell n(w_{ist}) t, \end{aligned} \tag{7}$$

où $WU_{it}\left(\equiv W_{it} + REC_{it}\right)$ est l'utilisation de l'eau définie comme étant la somme du prélèvement d'eau (W_{it}) et de la recirculation de l'eau (REC_{it}), et D_{it} est une variable nominale qui prend la valeur 1 s'il y a recirculation d'eau et 0, autrement. L'effet de la recirculation de l'eau sur la fonction de coût se manifeste selon deux voies : premièrement, plus l'eau est recirculée, plus le coût total G_{it} est élevé (effet de quantité); deuxièmement, l'utilisation d'une variable binaire D_{it} fait penser qu'en cas de recirculation de l'eau, la branche d'activité utilise une autre technologie que si elle se contentait de prélever de l'eau. Par conséquent, le prix fictif de l'utilisation de l'eau et d'autres indicateurs de la structure technologique et de la performance économique dépendent de la combinaison de ces deux effets. Les résultats correspondants sont présentés aux tableaux 4 et 5.

Tableau 4. Estimations moyennes des diverses élasticités et des prix fictifs avec recirculation, 1981 à 1996

Industries	$\varepsilon_{G,Y}$	ε_t	$\varepsilon_{W,K}$	$\varepsilon_{W,L}$	z (en $ par mètre cube)
Agricoles et de services connexes	0,74 (3,14)	-0,04 (4,55)	0,16 (3,03)	0,17 (3,47)	0,44 (1,82)
Exploitation forestière et services forestiers	0,89 (2,41)	-0,06 (3,97)	0,23 (3,24)	0,19 (3,10)	0,88 (2,60)
Mines	0,71 (2,24)	-0,05 (3,10)	0,12 (3,12)	0,17 (2,58)	0,26 (1,99)
Pétrole brut et du gaz naturel	0,89 (2,56)	-0,06 (4,59)	0,29 (2,87)	0,30 (2,63)	0,75 (2,67)
Carrières et sablières	0,73 (1,99)	-0,06 (3,82)	0,20 (4,04)	0,29 (2,09)	0,83 (2,01)
Services reliés à l'extraction des minéraux	0,67 (1,89)	-0,04 (2,89)	-0,11 (5,05)	-0,20 (2,52)	0,50 (1,60)
Aliments	0,70 (2,47)	-0,03 (3,57)	0,06 (2,34)	0,10 (3,76)	0,32 (0,96)
Boissons	0,51 (2,01)	-0,05 (3,89)	-0,03 (1,93)	-0,09 (2,06)	-0,07 (0,89)
Tabac	1,38 (3,18)	-0,03 (2,05)	-0,33 (2,47)	-0,41 (3,59)	1,04 (2,45)
Produits en caoutchouc	0,89 (2,14)	-0,05 (3,21)	0,25 (3,87)	0,30 (2,76)	0,99 (2,41)
Produits en matière plastique	0,95 (2,76)	-0,07 (4,44)	0,49 (2,24)	0,48 (3,22)	0,66 (4,24)
Cuir et des produits connexes	0,98 (2,06)	-0,04 (1,50)	-0,44 (2,12)	-0,56 (3,45)	0,85 (2,88)
Textiles de première transformation	0,63 (3,17)	-0,04 (3,27)	-0,18 (3,75)	-0,14 (3,89)	-0,29 (1,89)
Produits textiles	0,76 (2,61)	-0,05 (3,28)	0,09 (1,57)	0,00 (1,41)	0,10 (0,83)
Habillement	0,63 (2,11)	-0,04 (2,08)	-0,12 (3,42)	-0,04 (3,50)	-0,33 (1,14)
Bois	0,86 (1,58)	-0,06 (3,12)	-0,02 (0,83)	0,05 (1,67)	-0,00 (0,19)
Meuble et articles d'ameublements	0,67 (2,55)	-0,05 (4,14)	0,11 (2,14)	0,14 (2,83)	0,41 (1,75)
Papier et produits connexes	0,73 (2,23)	-0,05 (2,67)	0,20 (3,01)	0,11 (3,23)	0,31 (2,09)
Édition et industries connexes	0,77 (3,31)	-0,04 (3,11)	0,07 (2,47)	0,12 (3,49)	0,28 (1,66)
Première transformation des métaux	0,92 (1,05)	-0,05 (2,12)	0,12 (3,17)	0,17 (2,58)	0,23 (2,03)
Fabrication des produits métalliques	0,62 (2,46)	-0,07 (2,90)	0,03 (1,79)	-0,06 (0,33)	-0,08 (0,49)
Machinerie (sauf électrique)	0,62 (2,49)	-0,04 (3,88)	-0,16 (2,01)	-0,04 (3,42)	-0,37 (0,84)
Matériel de transport	0,94 (1,74)	-0,04 (4,32)	0,59 (3,47)	0,57 (2,83)	0,79 (3,67)
Produits électriques et électroniques	0,97 (3,05)	-0,06 (5,43)	0,60 (3,34)	0,59 (2,28)	0,69 (2,86)
Produits minéraux non métalliques	0,66 (2,71)	-0,04 (2,19)	-0,15 (2,83)	-0,10 (3,25)	-0,09 (0,99)
Produits raffinés du pétrole et du charbon	0,69 (3,03)	-0,04 (2,89)	-0,23 (2,17)	0,22 (2,98)	0,29 (2,33)
Chimiques	0,87 (2,15)	-0,06 (3,11)	0,11 (2,64)	0,24 (4,01)	0,33 (2,23)
Autres fabrication	0,61 (2,47)	-0,03 (4,31)	0,14 (3,29)	0,12 (3,36)	0,33 (1,49)
Construction	0,63 (2,99)	-0,05 (2,43)	-0,08 (4,14)	-0,03 (2,46)	-0,20 (0,73)
Transports	0,73 (2,53)	-0,04 (3,01)	0,22 (3,55)	0,24 (3,62)	0,93 (3,02)
Transports par pipeline	0,81 (1,89)	-0,06 (5,44)	0,47 (1,76)	-0,45 (2,70)	0,64 (2,39)
Stockage et entreposage	0,70 (2,44)	-0,05 (1,99)	0,11 (3,20)	0,12 (2,23)	0,25 (1,49)
Communications	0,84 (3,11)	-0,06 (3,56)	0,49 (2,73)	0,51 (2,91)	0,55 (2,65)
Autres services d'utilité publique	0,89 (2,71)	-0,06 (3,47)	0,35 (3,35)	-0,19 (3,36)	0,71 (2,08)
Commerce de gros	0,71 (3,09)	-0,04 (3,33)	0,51 (2,44)	0,44 (2,21)	0,55 (3,16)
Commerce de détail	0,76 (2,39)	-0,05 (2,56)	0,29 (3,58)	0,18 (3,76)	1,02 (2,65)
Toutes les industries	0,77 (2,53)	-0,05 (3,33)	0,24 (2,99)	0,19 (2,93)	0,55 (2,08)
Les sept plus grosses consommatrices d'eau[a]	0,74 (2,57)	-0,05 (3,41)	0,18 (2,91)	0,07 (2,95)	0,57 (2,06)

Nota : [a] Agriculture, mine, papier, première transformation des métaux, produits raffinés du pétrole et du charbon, chimiques et utilité publique. $\varepsilon_{G,Y}$ = échelle d'élasticités; ε_t = progrès technique; $\varepsilon_{W,K}$ = capital-eau élasticités de substitution; $\varepsilon_{W,L}$ = travail-eau élasticités de substitution; z (en $ par mètre cube) = prix fictif de l'eau utilisé. Les statistiques t sont entre parenthèses.

Tableau 5. Croissance de la productivité multifactorielle avec recirculation, 1981 à 1996 (taux de croissance annuel moyen en pourcentage)

Industries	Avec eau utilisée	Pas avec de l'eau utilisée
Agricoles et de services connexes	3,9	3,0
Exploitation forestière et services forestiers	-2,6	-0,3
Mines	1,3	1,6
Pétrole brut et du gaz naturel	2,5	2,2
Carrières et sablières	2,3	3,9
Services reliés à l'extraction des minéraux	0,2	0,7
Aliments	2,4	2,5
Boissons	-2,2	-1,9
Tabac	4,8	5,4
Produits en caoutchouc	7,2	2,6
Produits en matière plastique	0,8	-1,6
Cuir et des produits connexes	-6,0	-4,9
Textiles de première transformation	-2,9	-2,1
Produits textiles	-4,3	-4,0
Habillement	-6,0	-5,4
Bois	-2,5	-2,4
Meuble et articles d'ameublements	4,8	4,7
Papier et produits connexes	4,2	3,4
Édition et industries connexes	-2,1	-1,7
Première transformation des métaux	-1,2	-2,2
Fabrication des produits métalliques	-1,3	-1,3
Machinerie (sauf électrique)	6,0	6,1
Matériel de transport	2,0	4,0
Produits électriques et électroniques	0,7	-1,3
Produits minéraux non métalliques	-2,9	-3,3
Produits raffinés du pétrole et du charbon	-6,4	-4,2
Chimiques	2,4	-1,1
Autres fabrication	5,5	5,4
Construction	-4,6	-4,6
Transports	8,0	9,3
Transports par pipeline	10,0	10,0
Stockage et entreposage	2,7	3,1
Communications	9,6	10,8
Autres services d'utilité publique	3,0	3,0
Commerce de gros	5,0	5,0
Commerce de détail	4,6	6,0
Toutes industries	**1,6**	**1,8**
Les sept plus grosses consommatrices d'eau[a]	**1,3**	**0,8**

Nota : [a] Les industries sont : agriculture, mine, papier, première transformation des métaux, produits raffinés du pétrole et du charbon, chimiques et utilité publique.

Bien que l'introduction de la recirculation d'eau entraîne certains changements au niveau de la branche d'activité, les résultats obtenus pour l'agrégat initial en ce qui concerne l'élasticité des coûts, le progrès technologique, l'élasticité-capital (travail) de l'utilisation de l'eau et la croissance de la productivité multifactorielle ne varient pour ainsi dire pas (voir tableau 4). Nous notons cependant un changement important, à savoir une diminution significative du prix fictif, qui passe de 0,73 $ par mètre cube à 0,55 $ par mètre cube. En outre, les estimations du prix fictif pour la majorité des branches d'activité grandes consommatrices d'eau deviennent plus significatives[11].

L'effet de la recirculation de l'eau sur la croissance de la productivité multifactorielle présenté au tableau 5 ne modifie pour ainsi dire pas le scénario décrit plus haut d'après les résultats du tableau 3, à savoir que, si la croissance de la productivité multifactorielle pour l'ensemble des branches d'activité ne varie presque pas lorsqu'on tient compte de l'eau, elle augmente significativement pour la plupart de celles qui sont de grosses consommatrices. Dans une certaine mesure, ces résultats font penser que le cadre de mesure adopté pour la présente étude demeure robuste aux divers changements de spécification.

V. Conclusion

Nous spécifions dans le présent article un modèle de la structure de production où les branches d'activité utilisent les intrants conventionnels et prélèvent de l'eau, dont le prix n'est pas établi, pour produire une quantité donnée de biens. La méthode d'estimation couvre une part importante du secteur canadien des entreprises qui inclut les branches d'activité consommatrices d'eau les plus importantes pour les années de référence 1981, 1986, 1991 et 1996.

L'objectif principal du rapport est de comptabiliser le prélèvement d'eau dans la structure de production des entreprises canadiennes et de quantifier l'effet de ce prélèvement sur la productivité. La flexibilité de l'approche adoptée nous permet d'aborder diverses questions liées à l'utilisation de l'eau, à savoir a) les liens technologiques entre le prélèvement d'eau et les intrants conventionnels, b) les économies d'échelle, c) le prix fictif du prélèvement d'eau et d) l'effet de la recirculation de l'eau sur ce prix fictif.

Nous constatons que, si l'on tient compte du prélèvement d'eau dans la structure de production, la croissance de la productivité multifactorielle des branches d'activité consommatrices d'eau les plus importantes augmente de 0,7 point de pourcentage, en moyenne, pour la période allant de 1981 à 1996, mais que celle du secteur agrégé des entreprises ne change pour ainsi dire pas (voir tableau 3). Le prélèvement d'eau est un complément des intrants capital et travail. Le prix fictif du prélèvement d'eau est d'environ 0,73 $ par mètre cube et varie considérablement selon la branche d'activité.

---

11. L'intervalle de confiance pour les estimations du prix fictif de 0.55 $ par mètre cube est 0.48-0.60. Ceci confirme une fois encore le fait que lorsque l'on prend en compte la recirculation, les estimations du prix fictif font l'objet de moins d'incertitude.

Nous observons aussi que la plupart des résultats ne varient pas si l'on tient compte de la recirculation de l'eau, ce qui, dans un certain sens, témoigne de la robustesse de notre cadre analytique. Cependant, si nous nous en tenons à nos résultats antérieurs, la recirculation fait baisser le prix fictif de l'eau pour s'établir à 0,55 $ par mètre cube. Nous pouvons considérer l'écart entre les deux estimations comme un indice de la disposition des entreprises à payer pour le recyclage de l'eau.

La discussion des dimensions de la consommation d'eau présentée ici est axée sur la façon dont la quantité d'eau utilisée par les branches d'activité est reliée à la conceptualisation et à la mesure de la quantité d'eau utilisée par les branches d'activité sur lesquelles s'appuient les instruments de collecte de données. Malgré les nombreux efforts déployés par la Division des comptes de l'environnement de Statistique Canada pour produire le genre de données sur la consommation d'eau employées pour la présente étude, notre connaissance des caractéristiques particulières de la consommation d'eau présente encore d'importantes lacunes.

Premièrement, les données sont vieilles de presque dix ans. Deuxièmement, il est évident que, souvent, la consommation d'eau est étroitement liée à la qualité de l'eau, au sens de ses propriétés physiques, biologiques et chimiques. Par conséquent, il conviendrait de tenir compte de la qualité de l'eau afin de modéliser et de mesurer la relation entre la quantité d'eau consommée souhaitée et les facteurs économiques. Malheureusement, autant que nous sachions, il n'existe à l'heure actuelle aucune source fournissant des données sur la qualité de l'eau susceptibles d'être incluses dans notre cadre de mesure.

Bibliographie

Diaz, A. et T.M. Harchaoui 1997. « Accounting for Exhaustible Resources in the Canadian System of National Accounts: Flows, Stocks and Productivity Measures ». *Review of Income and Wealth* 43: 465-85.

Dupont, D. et S. Renzetti 1999. "The Role of Water in the Canadian Manufacturing Sector". pp. 15, Paper Presented at the IWREC Conference, June 1999, Kona, Hawaii.

Gollop, F. and G. Swinand. 2001. "Total Resource Productivity: Accounting for Changing Environmental Quality.' In New Directions in Productivity Analysis. Edited by E. Dean, M. Harper and C. Hulten. Conference on Research in Income and Wealth. NBER.

Harchaoui, T.M. et F. Tarkhani. 2002. « *Une révision complète de la méthode d'estimation de l'intrant capital pour le programme de la productivité multifactorielle de Statistique Canada* » dans Baldwin, J.R. et T.M. Harchaoui (dir.) : Croissance de la productivité au Canada — 2002, Statistique Canada, n° 15-204-XPF au catalogue.

Lasserre, P. and P. Ouellette. 1991. "The Measurement of Productivity and Scarcity Rents the Case of Asbestos in Canada", *Journal of Econometrics* 48: 287-312.

Pearse, P.H., F. Bertrand, et J.W. MacLaren 1985. Current Change. Final Report. Inquiry on Federal Water Policy. Ministry of Supply and Services, Ottawa.

Renzetti, S. 1992 "Estimating Structure of Industrial Water Demands: The Case of Canadian Manufacturing," *Land Economics*, 68, 4, pp. 396-404.

Renzetti, S. et D. Dupont 1995. "An Investigation Into the Design of Economic Instruments to Promote Efficient Industrial Water Use". 125 p. A Report for Environment Canada's Economic Instruments Initiatives. Environment Canada, Ottawa.

Renzetti, S. and D. Dupont. 2002. "The Value of Water in Manufacturing". pp. 32, mimeo, Brock University.

Seckler, D., R. Barker, and U. Amarasinghe. 1999. ''Water Scarcity in the Twenty-First Century,'' International Journal of Water Resources Development, 15 (1/2). 29-42.

Statistique Canada 1997a. *Éconnexions : pour lier l'environnement et l'économie, concepts, sources et méthodes du Système des comptes de l'environnement et l'économie,* n° 16-505-GPF au catalogue.

Statistique Canada 1997b. *Éconnexions : pour lier l'environnement et l'économie, indicateurs et statistiques détaillées,* n° 16-200-XKF au catalogue.

Tate, D.M. et D.N. Scharf 1991. "Water Use in Canadian Industry, 1991" Environment Canada, Social Science Series No. 31.

ANALYSE ÉCONOMIQUE
DOCUMENTS DE RECHERCHE

No.001 Une comparaison de la croissance économique au Canada et aux États-Unis à l'âge de l'information 1981-2000 : L'importance de l'investissement dans les technologies de l'information et des communications, ***Philip Armstrong, Tarek M. Harchaoui, Chris Jackson et Faouzi Tarkhani (1 mars 2002)***

No.002 Parité de pouvoir d'achat : Le cas du Canada et des États-Unis, ***Beiling Yan (mai 2002)***

No.003 L'importance accrue des producteurs plus petits dans le secteur de la fabrication : Comparison Canada/Etats-Unis, ***John Baldwin, Ron S. Jarmin et Jianmin Tang (mai 2002)***

No.004 Statistiques sur le commerce des sociétés affiliées à l'étranger – 1999 : La livraison des biens et des services sur les marchés internationaux, ***Colleen Cardillo (avril 2002)***

No.005 Volatilité de l'emploi au niveau régional dans le secteur canadien de la fabrication : Les effets de la spécialisation et du commerce, ***John Baldwin, W.Mark Brown (11 avril 2003)***

No.006 Antécédents de croissance, degré de concentration des connaissances et structure financière des petites entreprises, ***Guy Gellatly, S.Thornhill, A.Riding (06 août 2003)***

No.007 Prise en compte des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre conventionnel d'estimation de la productivité, ***Tarek M. Harchaoui, Dmitry Kabrelyan, Rob Smith (le 1 novembre 2002)***

No.008 Vaincre les distances, vaincre les frontières : comparaison des échanges régionaux en Amérique du Nord, ***W.Mark Brown (16 avril 2003)***

No.009 L'impact des émissions de gaz à effet de serre sur la croissance de la productivité au Canada, 1981-1996 : une approche expérimentale, ***Tarek M. Harchaoui et Pierre Lasserre (le 1 novembre 2002)***

No.010 Une approche frontière de la productivité multifactorielle au Canada et aux Etats-Unis, ***Kais Dachraoui, Tarek M. Harchaoui (le 3 avril 2003)***

No.011 Participation aux marchés d'exportation et productivité du secteur canadien de la fabrication, ***John R.Baldwin, Wulong Gu (le 13 août)***

No.012 Effet de l'utilisation des technologies de pointe sur le rendement des entreprises du secteur canadien de la transformation des aliments, ***John R.Baldwin, David Sabourin et David Smith (le 3 juin 2003)***

No.013 Statistiques sur le commerce des sociétés affiliées à l'étranger – Opération canadiennes à l'étranger 1999 à 2001, ***Division de la balance des paiements, par Michael Marth (mai 2003)***

No.014 Effect de la réduction des tarifs sur la taille et sur le roulement des entreprises dans le secteur canadien de la fabrication, ***Wulong Gu, G.Sawchuk, L.Whewell (le 19 août)***

No.015 Les sources de la croissance des émissions de CO2 du secteur canadien des entreprises, 1990 à 1996, ***par Kaïs Dachraoui, Gerry Gravel, Tarek M. Harchaoui et Joe St. Lawrence (septembre 2003)***

No.016 Répercussions du travail autonome sur la croissance de la productivité du travail: Comparison Canada-États-Unis, ***John R. Baldwin, James Chowhan (le 21 août 2003)***

No.017 Le capital public et sa contribution à la productivité du secteur des entreprises du Canada, ***Tarek M. Harchaoui et Faouzi Tarkhani (le 12 novembre 2003)***

No.018 *Prospérité et productivité : Une comparaison Canada-Australie,* ***Tarek M. Harchaoui, Jimmy Jean et Faouzi Tarkhani (le 09 décembre 2003)***

No.019 *Exode, rationalisation ou concentration? Analyse des sièges sociaux au Canada, 1999 à 2002,* ***John Baldwin, Desmond Beckstead et Mark Brown (le 08 décembre 2003)***

No.020 *Effet de l'évolution de l'utilisation des technologies sur le rendement des établissements dans le secteur de la fabrication au Canada,* ***John Baldwin et David Sabourin (27 juillet 2004)***

No.021 *Concurrence industrielle, évolution des parts de marché et croissance de la productivité,* ***John Baldwin et Wulong Gu (22 juillet 2004)***

No.022 *Innovation, survie et rendement des établissements canadiens de fabrication,* ***John Baldwin et Wulong Gu (Septembre 2004)***

No.023 *Renouvellement de l'économie manufacturière au Canada : Une comparaison régionale, 1973 à 1996,* ***W.Mark Brown (21 octobre 2004)***

No.024 *Rattrapage et perte de terrain : la performance provinciale du PIB par habitant entre 1990 et 2003,* ***John R. Baldwin, Mark Brown, Jean-Pierre Maynard, Danielle Zietsma (9 novembre 2004)***

No.025 *Qu'est-il advenu de la croissance économique et de la productivité au Canada et aux États-Unis à l'ère de l'information?* ***Tarek M. Harchaoui et Faouzi Tarkhani (23 novembre 2004)***

No.026 *Utilisation de l'eau, prix fictifs et productivité du secteur canadien des entreprises,* ***Kaïs Dachraoui et Tarek M. Harchaoui (1 décembre 2004)***